

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT - AGROPARISTECH

N°: 2018AGPT0014

En Sciences de l'Eau

École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau – n°584
Portée par l'Université de Montpellier

Unité de recherche TETIS n°9000

Qualité des eaux d'une rivière urbaine : Suivi réglementaire versus Perception des riverains Le cas du río Liberia (Costa Rica)

Présentée par Christian GOLCHER BENAVIDES
Le 4 décembre 2018

Sous la direction de Marie-George TOURNOUD
et Flavie CERNESSON

Devant le jury composé de

Mme Marie-George TOURNOUD, Professeure, Université de Montpellier

Mme Flavie CERNESSON, Maître de Conférences HDR, AgroParisTech

M Christophe CUDENNEC, Professeur, AgroCampus Rennes

M Narcís PRAT FORNELLS, Professeur, Universitat de Barcelona

M Christian SALLES, Maître de Conférences HDR, Université de Montpellier

Mme Catherine CARRÉ, Professeure, Université Paris I

Mme Muriel BONIN, Cadre Scientifique, CIRAD

M Fernando SAENZ SEGURA, Investigador y docente CINPE, Universidad Nacional de Costa Rica

Directrice de thèse

Co-Directrice de thèse

Rapporteur

Rapporteur

Membre du jury

Présidente du jury

Invitée et co-encadrante
de thèse

Invité

AVANT-PROPOS

Cette thèse a été développée dans le cadre de la coopération internationale pour l'enseignement supérieur entre la République française et le Costa Rica, État membre de l'Organisation Mondiale de la Francophonie. Ces efforts, menés par l'Institut Français de l'Amérique Centrale (IFAC) et les universités publiques représentées au sein du Conseil National des Recteurs (CONARE), favorisent, depuis 2014, les programmes de mobilité académique, recherche conjointe, homologation d'études supérieures, reconnaissance académique des diplômes, évaluations et accréditations institutionnelles.

Compte tenu des problèmes liés à l'eau qui affectent de profondément le développement humain dans le Pacifique Nord du Costa Rica, le siège régional Chorotega a de nouveau fait de ce problème un axe stratégique (2017-2021) dans le développement des exercices universitaires de l'Université Nationale (UNA). Les différents efforts déployés par le siège de cette université s'appuient sur les capacités d'enseignement, de recherche, et de vulgarisation du Centre Mésaméricain pour le Développement Durable des Tropiques (CEMEDE) et du Centre des Ressources en Eau pour l'Amérique Centrale et les Caraïbes (HIDROCEC). Depuis les premières démarches de recherches menées par HIDROCEC, l'état de la qualité des masses d'eau de surface et les pressions exercées par l'activité humaine sur elles ont été une préoccupation scientifique centrale. C'est ainsi que des programmes de surveillance du Río Liberia ont démarré et fournissent des connaissances pour la Commission interinstitutionnelle du Río Liberia.

En France, les établissements d'enseignement et de recherche AgroParisTech, le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad) et l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) ont quant à eux, constitué une unité mixte de recherche nommée Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (UMR-Tetis). L'équipe (AMoS) de TETIS se centre sur l'analyse et la modélisation de l'information spatiale pour la génération de connaissances pertinentes pour le développement de politiques publiques qui favorisent une gestion durable du territoire.

Esta tesis se desarrolló en el marco de los esfuerzos de cooperación internacional en educación superior entre las Repúblicas de Francia y de Costa Rica, Estado miembro de la Organización Mundial de la Francofonía. Estos esfuerzos encabezados por el Instituto Francés para América Central (IFAC) y las universidades públicas representadas en el Concejo Nacional de Rectores (CONARE), fomentan desde el 2014, programas de movilidad académica, investigaciones conjuntas, homologación de estudios, reconocimiento académico de títulos, evaluaciones y acreditaciones institucionales.

Ante las problemáticas ligadas al recurso hídrico que afectan sensiblemente el desarrollo humano del Pacífico Norte de Costa Rica, la Sede Regional Chorotega, he establecido una vez más esta problemática como eje estratégico (2017-2021) en el desarrollo del quehacer académico de la universidad necesaria, la Universidad Nacional (UNA). Los diversos esfuerzos que realiza esta sede universitaria, los ejecuta por medio de las capacidades de docencia, investigación, extensión y vinculación externa del Centro Mesoamericano para el Desarrollo Sostenible del Trópico Seco (CEMEDE) y del Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC). Desde los primeros esfuerzos de investigación realizados por el HIDROCEC, el estado de la calidad de los cuerpos de agua superficial y las presiones de la actividad humana sobre estos ha sido una preocupación científica. Así iniciaron programas de monitoreo en la subcuenca del río Liberia que fueron insumo de discusión en la Comisión Interinstitucional de la Subcuenca del Río Liberia.

Por su parte, en Francia los establecimientos de educación e investigación AgroParisTech, el Centre de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) y el Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA), han conformado una unidad mixta de investigación denominada Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (UMR-Tetis), cuyo equipo (AMoS), se enfoca en el análisis y modelación de información espacial para la generación de conocimiento pertinente en el desarrollo de políticas públicas orientadas a la gestión sostenible del territorio.

Al haber impulsado esta tesis, Hidrocec y Tetis han constituido un espacio de intercambio científico en el que se encuentran enfoques y escuelas de conocimiento complementarias en la comprensión de fenómenos que inciden en el desarrollo territorial, sostenible y humano.

REMERCIEMENTS

Agradezco a la Universidad Nacional y a las autoridades de la Sede Regional Chorotega, así como al IFAC, por su apoyo al dar contenido económico y material para la realización de esta formación doctoral.

Agradezco al pueblo de Costa Rica la oportunidad que brinda a sus jóvenes para la realización de estudios de posgrado en el extranjero.

A Andrea Suarez, gracias por el apoyo desde el inicio y a lo largo de este trabajo. A Muriel Bonin y a Fernando Sáenz, por su guía en el abordaje y la valorización de la cuestión geográfica y social. Muchas gracias a Flavie Cernesson y a Marie-George Tournoud por el consejo y la orientación en el fortalecimiento de mis competencias científicas.

Agradezco a los lectores Narcis Prat, Christophe Cudennec y a los miembros del jurado Katherine Carré, Christian Salles por sus recomendaciones finales en el mejoramiento de este trabajo académico.

Agradezco a la UMR-TETIS en la Maison de la Télédétection, que, en su dinámico ambiente, multiplicó mis perspectivas para el desarrollo y la animación científica. Gracias a Jean Phillippe Tonneau Gracias a los diversos servicios de apoyo de la MTD que siempre respondieron oportunamente a lo que fuese necesario.

Agradezco al Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y El Caribe (Hidrocec-UNA), especialmente a las y los funcionarios que desde el principio han contribuido al desarrollo de este centro de investigación que trata las sensibles problemáticas del agua en la región. Gracias a Daniela Rojas, Álvaro Baldioceda, Luisa Rojas, Guillermo Durán, a todos los estudiantes asistentes y a todas las personas que apoyan sus esfuerzos.

A las y los doctorandos de la MTD con quienes compartí estos años mostrándome realidades y conocimientos distintos. Gracias a los estudiantes que contribuyeron en el trabajo como pasantes de las universidades EARTH, ENGEES, AgroParisTech y a los estudiantes de la UNA Kendy Pérez, Anthonny Segura de la carrera de ingeniería hidrológica.

Este trabajo se dedica a los paisajes y a la gente de Liberia.

A mi familia en Francia, Christian y Marie-France, mi gratitud para siempre.

A mi familia y a Stephanie.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	1
REMERCIEMENTS	3
Introduction.....	17
Introducción	23
I. Eléments de contexte du Costa Rica	28
Informe sinóptico: Elementos de contexto de Costa Rica28	
1.1. Les enjeux de l’expansion urbaine sur les cours d’eau en Amérique Latine	30
1.1.1 Les modèles urbains communs en Amérique latine.....	30
1.1.2 La Grande Aire Métropolitaine (GAM), modèle centralisé d’expansion urbaine du Costa Rica	31
1.2. D’une politique sanitaire et de conservation à la gestion de l’eau et des milieux aquatiques	33
1.2.1. Une réglementation de Santé publique responsabilisant les individus dans la protection de l’environnement et des milieux aquatiques.....	33
1.2.2. L’engagement national de conservation de la nature et les stratégies de surveillance de la qualité des rivières	35
II. Caractéristiques géographiques et sociales de la zone d’étude, une rivière au cœur d’enjeux environnementaux.....	36
2.1. Géographie du bassin versant du río Liberia	37
2.1.1 Climat.....	37
2.1.2. Relief et Géologie	38
2.1.3. Hydrographie	40
2.1.4. Occupation du sol.....	45
2.2. Liberia, une ville périphérique au cœur d’enjeux territoriaux	47
2.2.1. Liberia, ville périphérique au cœur du développement de Guanacaste.....	47
2.2.2. Libéria au cœur d’enjeux environnementaux.....	48
2.2.3. Libéria sous tension pour la gestion de l’eau et des milieux aquatiques.....	48
2.3. Géographie humaine de la ville	52
2.3.2. Démographie.....	52
2.3.3. Éducation	53
2.3.4. Activités économiques	53

2.3.5. Vulnérabilité socio-économique	54
III. Efficacité des indices de qualité de l'eau réglementaires pour rendre compte des pressions anthropiques à l'échelle globale et locale	58
Informe sinóptico: Eficacia de los índices de calidad de agua reglamentarios para describir las presiones antropogénicas a escala global y local	58
3.1. Mise en contexte	62
3.1.1 Méthode	63
3.2. Mise en œuvre d'un protocole de surveillance en adéquation avec la réglementation	
Indices réglementaires de qualité des eaux	65
3.2.1. Indices réglementaires.....	65
3.2.2. Stations de mesures et dates de prélèvement	68
3.3. Etat de la rivière	73
3.3.1. Indice physico-chimique : PQI'CR.....	73
3.3.2. Indice biologique : BMWP'CR.....	74
3.3.3. Indice bactériologique : FCC'CR	76
3.4. Peut-on expliquer la variabilité temporelle ?	77
3.4.1. Quel indice hydrologique choisir ?	77
3.4.2. Relation entre les indices de qualité de l'eau et l'indice hydrologique sur le río Liberia....	80
3.4.2.1. Indice physico-chimique (PQI'CR)	80
3.4.2.2. Indice biologique (BMWP'CR)	81
3.4.2.3. Indice bactériologique (FCC'CR)	82
3.5. Peut-on expliquer la variabilité spatiale ?	83
3.5.1. Quel indicateur de pression choisir ?	83
3.5.1.1. Les pressions globales	83
3.5.1.2. Les pressions locales	86
3.5.2. Les indices de pressions globales et locales.....	88
3.5.2.1. Pressions globales	89
3.5.2.2. Pressions locales	95
3.5.3. Pressions anthropiques à différentes échelles sur le río Liberia.....	96
3.6. Leçons acquises	100

IV. Estudio geográfico de la relación del ser humano con el hidrosistema: Un estudio de la percepción y representaciones cartográficas.....	103
Eléments de synthèse : Etude de la relation entre l'être humain et le cours d'eau par la perception et les représentations cartographiques.	103
4.1. Encuesta para la aprehensión de la relación de los usuarios con el hidrosistema	111
4.1.1. Presentación de la encuesta.....	112
4.1.2. El barrio como unidad de análisis socio-ecológico de la subcuenca.....	114
4.1.3. Muestreo de los habitantes.....	116
4.1.4. Muestreo de los actores económicos ribereños.....	118
4.1.5. Cartografía de los lugares de interés de visitación y degradación percibida.....	121
4.2. ¿Son similares la cercanía y la percepción de los habitantes y actores económicos?	123
4.2.1. Descripción de las poblaciones encuestadas.....	123
4.2.2. El consenso: Una percepción negativa marcada por una percepción de inseguridad.....	128
4.2.3. Una cercanía de tránsito, otra de trabajo voluntario.....	133
4.3. Percepción del estado del hidrosistema según las características socioeconómicas de los habitantes	135
4.3.1. ¿Cómo se comporta la percepción en función del sexo y de la edad?.....	135
4.3.2. ¿Cómo se comporta la percepción en función del nivel escolar?.....	137
4.3.3. ¿Cómo se comporta la percepción en función del oficio u ocupación?.....	138
4.4. La percepción contrastada por la cercanía	138
4.4.1. Percepción del estado del hidrosistema según el nivel de visitación de los habitantes.....	139
4.4.2. Percepción del estado del hidrosistema según el motivo de la visitación de los habitantes	140
4.5. Descripción geográfica de la percepción de la degradación y de la visitación	140
4.5.1. Cartografía de los puntos percibidos altamente degradados.....	141
4.5.2. Cartografía de los puntos de visitación.....	142
4.5.3. Relación entre la visitación y los puntos indicados como altamente degradados.....	144
4.6. Lecciones aprendidas	145
V. Valoriser les décalages entre la qualité de l'eau observée et les perceptions des usagers	149
Informe sinóptico: Aportes de los desfases entre los conocimientos biofísicos y la percepción de los usuarios	149
5.1 Bilan de la mesure et de la perception de la qualité de l'eau	155

5.2	Cohérence entre le suivi scientifique du Liberia et la perception des riverains	157
5.2.1	Quelle est la perception de nos points de mesure : ont-ils été repérés par la population ?	158
5.2.2	Quelle est la perception sur les points de mesure : Les stations de mesure sont-elles des lieux fréquentés ou plutôt perçus comme dégradés (...ou un peu des deux) ?	160
5.2.3	Quelle est la perception sur nos points de mesure : Les perceptions sont-elles cohérentes avec les indices de la qualité de l'eau observée ?	161
5.3	Apports de l'étude de la perception sociale des riverains à la surveillance scientifique	163
5.3.1	Définition de nouvelles stations de surveillance de qualité de l'eau et de tronçon d'observation de la ripisylve	164
5.3.1.1	Résumé des site-clés signalés par les usagers	164
5.3.1.2	Localisation des nouvelles stations de suivi	165
5.3.2	Retours des observations de la qualité de l'eau effectuées en 2017	167
5.3.3	Retours d'observations des conditions de la ripisylve effectuées en 2017	170
5.3.4	Caractérisation d'éléments urbains observés <i>in situ</i> de l'action humaine	172
5.4	Leçons acquises	173
	Conclusion	175
	Conclusión	181
	Références	186

TABLE DE SIGLES

ACG	<i>Área de Conservación Guanacaste / Aire de Conservation de Guanacaste</i>
ACG-M	<i>Corredor Biológico Las Morocochas / Corridor Biologique Las Morocochas</i>
AyA	<i>Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados / l’Institut National des Aqueducs et des Egouts</i>
AR	<i>Área Rectora de Salud / Aire Rectrice de Santé</i>
ASADAS	<i>Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes / Association Administratrices des Systèmes Comunes des Eaux et de l’Assainissement</i>
AMoS	<i>Analyse et Modélisation Spatiale / Análisis y Modelación Espacial</i>
APHA-AWWA	<i>American Public Health Association – American Water Works Association</i>
BMWP	<i>Biological Monitoring Working Party</i>
CDB	<i>Convención sobre la Diversidad Biológica / Convention de la Diversité Biologique</i>
CEMEDE	<i>Centro Mesoamericano para el Desarrollo Sostenible del Trópico Seco</i>
CIRAD	<i>Centre de Recherche Agronomique pour le Développement</i>
CITES	<i>Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres</i>
CMS	<i>Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres</i>
CR	<i>Costa Rica</i>
CODEGAM	<i>Comisión de Desarrollo de la Gran Área Metropolitana</i>
CONARE	<i>Concejo Nacional de Rectores</i>
DCE	<i>Directive Cadre sur l’Eau</i>
DBO	<i>Demande Biologique d’Oxygène</i>
ENGEES	<i>Ecole National du Génie de l’Eau et de l’Environnement</i>
ENOS	<i>El Niño-Oscillation du Sud</i>
FCC	<i>Indice de Coliformes Fécaux</i>
FOMUDE	<i>Proyecto de Fortalecimiento Municipal y Descentralización</i>

GAM	<i>Gran Área Metropolitana / Région Métropolitaine</i>
GIRE	Gestion Intégrée de la Ressource en Eau
GIRH	<i>Gestión Integrada de Recursos Hídricos</i>
H	Indice Pluviométrique
HIDROCEC	<i>Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe</i>
IDA	<i>Antiguo Instituto de Desarrollo Agrario / Ancien Institut de Développement Agraire</i>
IFAC	<i>Instituto Francés para América Central</i>
IGN	<i>Instituto Geográfico de Nacional / Institut Géographique National</i>
IMN	<i>Instituto Meteorológico Nacional / Institut Météorologique National</i>
IMAS	Instituto Mixto de Ayuda Social
INDER	<i>Instituto Nacional de Desarrollo Rural / Institut National de Développement Rural</i>
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo / Institut National de Statistiques et Recensements
INVU	Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo / Institut National de L'Habitat et de l'Urbanisme
IQE	Indice de Qualité de l'Eau
IRSTEA	Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ITCR	<i>Instituto Tecnológico de Costa Rica / Institut Technologique du Costa Rica</i>
MSNM	<i>Metros sobre el nivel del mar / mètres sur le niveau de la mer</i>
PQI	Indice physico-chimique
RQI	Riparian Quality Index

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Evolution démographique des villes en Amérique Latine entre 1990 et 2005 (Montoya, 2009).	31
Figure 2. Localisation de la zone d'étude dans le bassin du rio Liberia.	36
Figure 3. Climogramme de la station Liberia (2010-2015) (IMN, 2016).	38
Figure 4. Profil en long du río Liberia en trois niveaux de pente (rouge = forte, jaune = moyenne, verte = faible).	38
Figure 5. Carte géologique de la zone d'étude.	39
Figure 6. Colonne stratigraphique et profil hydrogéologique de la Meseta Ignimbrítica (Mende et al., 2007)	40
Figure 7. Affluent éphémère du río Liberia à proximité de « Finca El Yugo ».	41
Figure 8. Hydrographie de la zone d'étude.	41
Figure 9. RíoLiberia amont : Canal d'alimentation du Rio Liberi dans le secteur Santa María du parc national Rincón de la Vieja (Section agrandie de la feuille cartographique "Curubandé" de l'Institut Géographique National - IGN (2017).	43
Figure 10. Infrastructure de dérivation vers le Liberia, secteur Santa María.	43
Figure 11. Conditions lithiques et lenthiques typiques du río Liberia	45
Figure 12. Occupation du sol de 1992 du bassin du río Liberia (ITCR, 2015).	46
Figure 13. Variation inter-mensuelle de la production d'eau potable par type de source en 2009 (AyA, 2010).	49
Figure 14. Variation mensuelle de la moyenne de consommation journalière par habitant en 2016 (Nikolaeva et al. 2018).	50
Figure 15. Diamètres du système collectif d'assainissement d'eau usées (Valverde Marin, 2012).	51
Figure 16. Effluent de la station d'épuration d'eaux usées de la ville.	51
Figure 17. Répartition en pourcentage des groupes d'âge par sexe selon les projections démographiques de 2015 (INEC, 2017).	52
Figure 18. Niveau d'éducation par sexe de la population âgée de plus de 15 ans dans la Région Chorotega (INEC, 2017).	53

Figure 19. Método empleado para responder a la pregunta: ¿Los índices reglamentarios son eficaces para dar cuenta de la calidad del agua?	60
Figure 20. Méthode suivie pour répondre à la question : Les indices réglementaires sont-ils efficaces pour rendre compte de la qualité de l'eau ?	65
Figure 21. Localisation des stations de surveillance sur le río Liberia.	69
Figure 22. Dates d'échantillonnage de l'eau et précipitations quotidiennes du 1er décembre 2012 au 31 décembre 2016 (NOAA, 2015).	71
Figure 23. Statistiques des scores médians de PQI'CR de chaque paramètre à chaque station.	73
Figure 24. Variabilité de l'indice physico-chimique PQI'CR à chaque station de mesure.	74
Figure 25. Nombre de familles observées aux stations d'échantillonnage ♦ et % de présence des individus de la famille prépondérante para rappor a l'effectif total.	75
Figure 26. Variabilité de l'indice biologique BMWP'CR à chaque station de mesure.	76
Figure 27. Variabilité de l'indice bactériologique FCC'CR à chaque station de mesure.	77
Figure 28. Scores médians du PQI'CR selon l'indice hydrologique.	81
Figure 29. Scores médians du BMWP'CR selon l'indice hydrologique.	82
Figure 30. Scores médians du FCC'CR selon l'indice hydrologique.	83
Figure 31. Couverture cumulée naturelle, semi-naturelle et de l'espace agricole au niveau 3 sur les sous-bassins de la zone d'étude.	90
Figure 32. Couverture cumulée de la zone urbaine et de l'infrastructure de transport au nuiveau 3 sur les sous bassins de la zone d'étude.	91
Figure 33. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau I.).	92
Figure 34. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau II.).	93
Figure 35. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau III.).	94
Figure 36. Scores du RQI et des attributs pour chaque station de la zone d'étude.	96
Figure 37. Indices de Spearman calculés entre les médianes des indices réglementaires de qualité de l'eau calculées pour chaque station de mesure, avec les onze indicateurs du RQI (pressions locales) et les trente-trois indicateurs de l'occupation du sol (pressions globales)	99
Figure 38. Méthode suivie pour répondre à la question : la perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ?	105

Figure 39. Site-clés de fréquentation et de dégradation des habitants et des acteurs économiques.	107
Figure 40. Niveau de fréquentation et de dégradation des points indiqués par les habitants.	108
<i>Figure 41. Método para responder a la pregunta: ¿La percepción del río por parte de los usuarios es consistente para describir la calidad del agua?</i>	112
Figure 42. Estructura de la encuesta aplicada	113
Figure 43. Mapa de la población de los distritos electorales que se encuentran sobre el área de estudio (INEC, 2011).	115
Figure 44. Delimitación de los barrios y del área de estudio.	116
Figure 45. Localización de establecimientos de actividad económica censados en búfer de proximidad (50 m) del río Liberia y sus quebradas.	119
Figure 46. Porcentajes del género y distribución de la edad en los objetos de estudio.	124
Figure 47. Distribución porcentual de los habitantes por grupos de edad y por sexo.	125
Figure 48. Distribución porcentual de los actores económicos por grupos de edad y por sexo.	125
Figure 49. Nacionalidades identificadas en ambos objetos de estudio.	126
Figure 50. Nivel de instrucción por sexo obtenido en los objetos de estudio.	126
Figure 51. Distribución del tiempo habitado en el barrio en función de la edad del habitante encuestado.	128
Figure 52. Respuestas de los habitantes y de los actores económicos a la consulta: ¿En su opinión cómo se encuentra el río?	129
Figure 53. Percepción del nivel de riesgo no social de los habitantes y de los actores económicos frente a accidentes, enfermedades gastrointestinales, infecciones cutáneas y enfermedades transmitidas por el vector <i>Aedes aegyptii</i> .	130
Figure 54. Percepción del nivel de riesgo social de los habitantes y de los actores económicos frente a asaltos y violencia, asuntos relacionados a la venta y consumo de drogas, y violencia de naturaleza sexual.	131
Figure 55. Percepción sensorial (visual y olor) de los habitantes y de los actores económicos.	132

Figure 56. Percepción de los elementos específicos del contexto urbano (desechos sólidos y cobertura vegetal) de los habitantes y de los actores económicos.	132
Figure 57. Respuestas de percepción obtenidas sobre la calidad del agua del río Liberia y sus quebradas en ambos objetos de estudio muestreados.	133
Figure 58. Respuestas obtenidas en ambos objetos de estudio a la pregunta ¿Visita ud. el río o sus quebradas?	134
Figure 59. Respuestas a la pregunta: ¿Con qué frecuencia visita el río?	134
Figure 60. Respuestas a la pregunta: ¿Para qué va -o ha ido- ud. al río?	135
Figure 61. Percepción del estado general del río según el sexo de los encuestados.	136
Figure 62. Percepción del estado general del río según el grupo etario de los encuestados.	137
Figure 63. Percepción del estado general del río según el nivel escolar etario de los encuestados.	137
Figure 64. Percepción del estado general del río según el nivel escolar etario de los encuestados.	138
Figure 65. Estado general del río según los habitantes que visitan el río y los que no.	139
Figure 66. Percepción del estado general del río según el nivel de visitación de los habitantes.	139
Figure 67. Percepción del estado general del río según el motivo de visita de los encuestados.	140
Figure 68. Cartografía de los puntos localizados degradación según la percepción de los habitantes.	142
Figure 69. Cartografía de los puntos localizados de visitación en función de la ocurrencia calculada en la percepción de los habitantes.	143
Figure 70. Nivel de visitación y de degradación de los puntos indicados por los habitantes.	145
Figure 71. Metodo empleado para responder a la pregunta: la percepción social puede mejorar la evaluación de la calidad del agua.	151
Figure 72. Esquema de la calidad de agua del río Liberia y sus quebradas según las observaciones del 24 de octubre del 2017.	153

Figure 73. Esquema de la calidad de de las áreas ribereñas del río Liberia y sus quebradas según las observaciones entre octubre y noviembre del 2017. 154

Figure 74 : Méthode suivi pour répondre à la question : Le croisement des données permet-il d'améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau ? 157

Figure 75. Localisation des stations de mesure proposées en zone urbaine. 166

Figure 76. Précipitation journalière de l'année 2017 à Liberia (Universidad Nacional, 2018). 167

Figure 77. Schéma des indices de qualité de l'eau observés le 24 octobre 2017. 169

Figure 78. RQI observé sur stations permanentes et complémentaires sur schéma du réseau de surveillance. 171

TABLE DE TABLEAUX

Tableau 1. Débit et charge polluante de la station d'assainissement d'eau usées de la ville de Liberia (Abarca Garbanzo, 2002).	52
Tableau 2. Distribution des groupes d'activité économique (INEC, 2011).	54
Tableau 3. Distribution des besoins basiques insatisfaits au sein des foyers (INEC, 2011).	55
Tableau 4. Características de las estaciones de muestreo.	59
Tableau 5. Attribution des notes pour les paramètres PQI'CR	66
Tableau 6. Système de classification de la qualité de l'eau des indices physico-chimiques, biologiques et bactériens figurant dans la réglementation nationale (MINAE, 2007).	68
Tableau 7. Caractéristiques des stations de surveillance.	69
Tableau 8. Dates de prélèvement pour la construction des indicateurs évalués PQI'CR, BMWP'CR et FCC'CR.	70
Tableau 9. Quartiles des quantités de pluie (et intervalles de classe correspondants) pour les durées de 1, 7, 28 et 91 jours à la station de pluie du Liberia (2013-2015).	78
Tableau 10. Intervalles des classes correspondantes de l'indice hydrologique indice-H.	78
Tableau 11. Calendrier d'échantillonnage de la qualité de l'eau et leurs indices H correspondants.	78
Tableau 12. Nomenclature hiérarchisée de l'occupation du sol.	85
Tableau 13. Población y encuestas realizadas por barrio en términos nominales y porcentuales.	118
Tableau 14. Número de establecimientos censados por tipo de actividad.	120
Tableau 15. Simplificación del modelo de representación espacial basado en ocurrencias de puntos mencionados.	122
Tableau 16. Ocupaciones identificadas en el muestreo sobre la población habitante.	127
Tableau 17. Ejemplos utilizados en este estudio para la percepción de los riesgos asociados al río Liberia.	130
Tableau 18. Endroits indiqués par la population indicatifs des stations du réseau de mesure.	159

Tableau 19. Nombre d'habitants et d'acteurs économiques qui ont indiqué les stations de mesure*. 161

Tableau 20. Statistiques des indicateurs aux stations repérées par les populations.163

Tableau 21. Descriptions des nouvelles stations de surveillance. 165

Tableau 22. Indices de qualité d'eau observés le 24 octobre 2017. 168

Introduction

L'expression « on ne protège pas ce qu'on ne connaît pas » alerte sur la nécessité d'améliorer les connaissances ayant pour but de tendre vers une gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles.

Un défi fondamental pour la gestion durable de l'eau est l'utilisation correcte d'indices environnementaux pour fournir une information opérationnelle. Les indices environnementaux résument une complexité et sont définis comme des « combinaisons linéaires de plusieurs paramètres auxquels sont assignés des pondérations spécifiques » (Espejo et al., 2012). Les indices peuvent avoir des objectifs descriptifs, normatifs ou bien combinés (Heink and Kowarik, 2010), et en tant que tels, ils doivent être appropriés, validés, fiables et opérationnels (Pingault and Préault, 2007).

Les indices en effet, ont prouvé leur efficacité à décrire les conditions générales d'une certaine situation et pourtant présentent diverses limites (Birk et al., 2012). Dès la conception de l'indice, on est confronté à la complexité écologique liée aux spécificités des processus qui interagissent à toute échelle temporelle et spatiale.

Les indices requièrent des observations du milieu d'intérêt pour être construits. Les efforts d'observation sont eux contraints par des limites opérationnelles, liées aux coûts économiques, humains et techniques, et par conséquent, du coût de la mesure et de l'entretien des réseaux de surveillance.

Les indices environnementaux ont également des limites sur les statistiques à la base de leur construction et de leur interprétation. Lors de sa conception, l'indice peut être défini comme indiquant une situation ponctuelle ou bien une large période. La question ici est de travailler sur des grandeurs instantanées ou cumulatives, discrètes ou continues. La combinaison de paramètres ou observations impose des choix sur la façon de résumer les informations. Fait-on des classes ou non ? Retient-on ensuite, la moyenne ou quelle valeur la plus contraignante ? De plus, le choix de standardisation qui vise à faciliter les comparaisons est délicat. Quelle valeur de référence choisir : la taille du bassin versant, le contexte environnemental, une valeur issue d'une situation peu ou pas altérée... ? Enfin, la faible quantité de données qui peuvent être acquises au niveau local à des fréquences très variables, conduit à mobiliser des méthodes statistiques adaptées.

Les indicateurs ont été au départ conçus pour suivre la qualité de la ressource en eau destinée à la consommation humaine par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques (Burt et al., 2014). Désormais, ils permettent le suivi de la santé des écosystèmes en incorporant des bioindicateurs voire des suivis écotoxicologiques.

Le passage de l'indice au concept d'indicateur est aussi un sujet délicat. Le choix de la valeur cible et la définition des seuils de l'échelle d'évaluation, sont toujours mis en question, modifiés, adaptés. Ainsi, les experts s'investissent dans la validation et l'interprétation des observations effectuées.

Toutes ces difficultés entraînent donc des limites cognitives. La compréhension du lien entre la qualité environnementale (de l'eau) et ses pressions est complexe surtout, lorsqu'il s'agit de choisir des mesures de conservation et de restauration et encore, pour savoir si elles sont effectivement efficaces.

Alors que les usages de l'eau (par exemple pour assurer la santé publique) ont conventionnellement été utilisés pour créer des échelles d'évaluation (Dinius, 1987) cette approche traditionnelle a évolué pour inclure l'intégrité écologique et les objectifs de restauration (Brown et al., 1972; House, 1989; Novotny et al., 2005; Ramos et al., 2016). Ainsi, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) parmi d'autres réglementations modernes, inclut désormais des objectifs de restauration vers un bon état écologique des milieux aquatiques.

Originellement proposés comme outils de comparaison pour évaluer la diminution de la pollution (Horton, 1965), les indicateurs permettent désormais d'identifier les tendances sur la santé globale des milieux (Dunnette, 1979; Kannel et al., 2007). De plus, les indicateurs contribuent à l'optimisation de la métrologie et des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau.

Les approches spatiales et temporelles sont nécessaires pour mieux comprendre les composants biologiques et physico-chimiques de la qualité de l'eau (Bahar et al., 2008; Goldstein et al., 2006; Lamert and Allan, 1999; Novotny et al., 2005). D'ailleurs, depuis 2005 les études combinant ces dimensions des indices de qualité de l'eau ont augmenté considérablement face à la croissance de la pression humaine sur les cours d'eau (Craig et al., 2017; Uuemaa et al., 2012).

Or, l'environnement n'est pas exclusivement un espace physique, mais aussi une construction sociale (Greider and Garkovich, 2010). Un même espace physique peut avoir des significations différentes selon les individus.

Pour mieux comprendre la dégradation des ressources naturelles, on peut ainsi s'intéresser à l'étude des perceptions sociales de l'environnement qui sont le reflet de la relation entre l'être humain et l'environnement (Lefebvre, 1974). Fernández Moreno (2008) souligne la nécessité de réaliser des études de perception environnementale afin de « contribuer à la conception de politiques environnementales véritablement publiques, plus inclusives et d'intérêt général ».

En effet, pour satisfaire leurs besoins, les personnes utilisent des biens et des services environnementaux (Camacho-Valdez and Ruiz-Luna, 2012). Les ressources naturelles sont ainsi soumises à des altérations qui peuvent dépasser les capacités régénératives des écosystèmes.

L'impact anthropique sur la biosphère est étudié dans le « *continuum* » entre les ères géologiques du Pléistocène à l'Holocène donnant récemment naissance à « l'Anthropocène » (Braje and Erlandson, 2013), face au constat de l'ampleur des pressions anthropiques à l'échelle planétaire (Crutzen, 2002). Ces pressions ont pour graves conséquences, la réduction de la biodiversité, l'artificialisation et perte des sols, et le changement climatique... (Muller, 2009).

En 1968, l'écologue Hardin décrit les comportements indépendants mais rationnels des individus, qui motivés par leur propre intérêt personnel, finissent par détruire des ressources naturelles limitées, partagées et communes. Il nomme ce problème « sans solution technique », la « tragédie des communs ». Pour prévenir cette fatalité, Hardin indique la nécessité d'une cohésion mutuelle, voire d'une coercition.

L'économiste Elinor Östrom (2009) analyse les capacités d'auto-organisation des usagers dans les systèmes socioécologiques, tout en mettant en avant l'action des usagers dans la gestion des ressources naturelles. Pourtant, dans quelle mesure les membres d'une communauté d'usagers peuvent-ils s'organiser pour faire face aux enjeux environnementaux et en particulier ceux liés à l'eau ?

Dans cette question, il devient pertinent d'étudier les relations entre les ressources naturelles et les usagers. Lorsqu'il s'agit de l'eau, ces relations sont très diverses. L'analyse se fait souvent soit en considérant l'eau comme une ressource, ou bien comme un milieu écologique. Néanmoins, la combinaison des deux est indispensable : l'eau est aussi bien une ressource pour le développement d'activités humaines qu'un élément fondamental dans l'intégrité écologique, et particulièrement des rivières.

L'usager, l'une des clefs de voute de ce travail, est un objet d'étude complexe. Ce sont des individus, ou des groupes qui protègent, dégradent, bénéficient ou sont affectés – même potentiellement – par l'intégrité écologique de la rivière et la disponibilité de la ressource en eau.

Les usagers peuvent être décrits par différentes caractéristiques : leurs nombre et localisation, leurs caractéristiques socioéconomiques, leurs pratiques, leurs usages, leurs connaissances du système écologique et leur capacité à identifier et à hiérarchiser les enjeux (Ostrom, 2009).

Qu'il s'agisse de la cohésion mutuelle préconisée par Hardin, ou de l'auto-organisation de Östrom, la connaissance et la compréhension des perceptions et des représentations des personnes est donc primordial dans l'étude de la dégradation des ressources naturelles.

Selon Rivière-Honegger et al. (2014), cette connaissance permet de comprendre les relations entre les personnes et le milieu naturel, ainsi que les différentes postures et demandes existantes autour de son usage. Connaître les perceptions prépare les débats propres à la définition des plans de gestion. Cette connaissance peut finalement orienter l'intégration des usagers dans les démarches de conservation et de restauration des cours d'eau (Brinkman et al., 2012; Farnham et al., 2017; Taylor and de Loë, 2012).

L'interaction hommes-rivières en zones urbaines signifie souvent prélèvements d'eau, rejets d'eaux usées, dépôts de déchets solides, extractions d'agrégats, chenalisation et busages, artificialisation des berges..., configurant ainsi la *tragédie des communs* dont font l'objet les écosystèmes aquatiques. En Amérique Centrale, ces pratiques sont clairement identifiées comme les principales pressions sur les cours d'eau urbains (GWP Centroamérica, 2017; Estado de la Nación, 2016). Au Costa Rica, malgré la réglementation environnementale existante et une politique autour du concept de Gestion Intégrée de la Ressource en Eau (GIRE), on constate une dégradation continue des hydrosystèmes (Contraloría General de la República de Costa Rica, 2013; Sagot, 2009).

Des études analysant la relation entre usagers et cours d'eau dégradés ont déjà été réalisées au Costa Rica. Santos et al. (2017) ont étudié la perception environnementale des habitants riverains de la rivière Ocloro situé à San José, la capitale du pays située dans la Grande Aire Métropolitaine (dite GAM). Ils ont comparé les populations riveraines de deux quartiers de niveau socio-économique différents. D'après leurs résultats, la perception environnementale des habitants des deux zones est identique : les habitants identifient comme ressource principale la rivière et sa végétation riparienne, comme enjeux la pollution et les mauvaises odeurs, et comme

solutions possibles, l'éducation environnementale, l'entretien des berges et le reboisement. Encore dans le GAM, Suárez Serrano et al. (2015) mettent en évidence à partir d'expériences en recherche-action, l'importance de la participation citoyenne à l'échelle du micro-bassin (soit au niveau local). La participation citoyenne est nécessaire dans le développement des interactions « existantes au sein d'une collectivité donnée et peut être mise à profit pour résoudre des problèmes collectifs et améliorer ou maintenir le bien-être de cette collectivité »(Chaskin, 2001). Les villes qui restent à l'écart du GAM sont à ces effets peu étudiées alors qu'on constate le même comportement de dégradation des hydrosystèmes en zone urbaine (Theodoro Mezger, 2016). Liberia, capitale du Guanacaste (Pacifique Nord), a subi une forte croissance urbaine lors des dernières décennies (Espriella, 2007) et est un cas représentatif de ces villes dites périphériques.

Ayant décrit l'importance des approches biophysiques et sociologiques dans la compréhension des pressions et de l'état des cours d'eau urbains, l'objectif de la thèse est de contribuer à la connaissance de la qualité de l'eau en tant que ressource **et** en tant que milieu, dans le contexte d'une ville moyenne traversée par un petit cours d'eau doté d'affluents intermittents. Il s'agit de relier les efforts de surveillance réglementaire par indicateurs, et perception, connaissances, et pratiques vers la capacité d'engagement des usagers. Trois sous-objectifs peuvent être définis à partir des questions suivantes :

- les indices réglementaires du Costa Rica permettent-ils de rendre compte de la qualité de l'eau ?
- la perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ?
- le croisement des données permet-il d'améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau ?

La thèse s'articule en 5 chapitres. Le modèle d'urbanisation latino-américain et la mise en œuvre des politiques sanitaires et environnementales du Costa Rica, qui constituent le cadre de la problématique sont traités en chapitre I. Le chapitre II décrit le contexte géographique de l'étude, le bassin du río Liberia, bassin versant sur lequel se situe la ville de Liberia. En chapitre III, on évalue l'efficacité des indices de qualité de l'eau réglementaires pour rendre compte des pressions anthropiques à différentes échelles. Le chapitre IV étudie la relation des usagers avec l'hydrosystème en croisant la perception de l'état de la rivière avec les pratiques de fréquentation

de la population riveraine. Le chapitre V étudie les apports et les décalages entre les connaissances biophysiques issues du chapitre III et la perception des usagers étudiée dans le chapitre IV.

Introducción

La expresión no se protege lo que no se conoce alerta de la necesidad de mejorar los conocimientos que tienen como objetivo la gestión sostenible del medio ambiente y de los recursos naturales.

Un desafío fundamental para la gestión sostenible del medio ambiente es la utilización correcta de índices ambientales para brindar información de utilidad operativa. Los índices ambientales resumen una complejidad y son definidos como “combinaciones lineares de múltiples parámetros a los cuales son asignadas ponderaciones específicas” (Espejo et al., 2012). Los índices pueden tener objetivos descriptivos, normativos o bien combinados (Heink and Kowarik, 2010), y como tales, deben ser apropiados, válidos, fiables y operativos (Pingault and Préault, 2007).

Los índices en efecto, han demostrado su eficacia para describir las condiciones generales de ciertas situaciones y sin embargo presentan variados límites (Birk et al., 2012).. Desde la concepción de los índices, estamos confrontados a la complejidad ecológica ligada a la especificidad de los procesos que interactúan a cada escala temporal y espacial estudiada.

Los índices requieren observaciones del medio de interés para poder ser construidos. Los esfuerzos de observación están ellos sujetos a límites operativos, ligados a costos económicos, humanos y técnicos, en general, del costo de la muestra y del mantenimiento de las redes de monitoreo.

Los índices ambientales tienen también límites sobre las estadísticas a la base de su construcción e interpretación. A la hora de su concepción, el índice puede ser definido como indicativo de una situación puntual o prolongada. La cuestión está en trabajar sobre valores instantáneos o acumulativos, discretos o continuos. La combinación de parámetros u observaciones impone la necesidad de tomar decisiones sobre la forma en que se resume la información: ¿Establecer o no categorías? ¿Seleccionar enseguida, el promedio, la media o cual valor más restrictivo? Más aún, la escogencia de estandarización generada para establecer comparaciones es delicada. ¿Qué referencias seleccionar?: tamaño de cuenca hidrográfica, contexto ambiental, valores obtenidos de medios poco o no alterados... En fin, la frecuente baja cantidad de datos a nivel local que pueden ser adquiridos y con frecuencias muy variables, conduce al uso de métodos estadísticos adaptados.

Los primeros indicadores fueron al principio concebidos para dar seguimiento a la calidad del agua como recurso destinado al consumo humano por parámetros físico-químicos y bacteriológicos (Burt et al., 2014). Hoy en día, estos permiten el seguimiento de la salud de los ecosistemas incorporando bioindicadores e incluso monitoreos ecotoxicológicos.

El recorrido del índice al concepto de indicador es también un tema delicado. La escogencia del valor objetivo y la definición de los rangos de escala de evaluación, están siempre en tela de juicio, siendo modificados y adaptados recurrentemente. Así, los expertos realizan significativos esfuerzos de validación e interpretación de las observaciones que efectúan.

Todas estas dificultades conllevan entonces limitaciones cognitivas. La comprensión del ligamen entre la calidad ambiental (del agua) y de las presiones a las que es sometida es compleja y sobretodo, cuando se trata de escoger medidas de conservación y de restauración y sobre todo, de saber si éstas son efectivamente eficaces.

Dado que el uso del agua (por ejemplo para asegurar la salud pública) fue convencionalmente utilizado para establecer las escalas de evaluación (Dinius, 1987), este enfoque tradicional ha evolucionado hacia el buen estado ecológico de los medios acuáticos (European Commission and Directorate-General for the Environment, 2014).

Originalmente propuestos como herramientas de comparación para evaluar las bajas de la contaminación (Horton, 1965), los indicadores permiten hoy en día identificar las tendencias sobre la salud global de los ecosistemas (Dunnette, 1979; Kannel et al., 2007). Además, los indicadores contribuyen a la optimización de la metrología y de los sistemas de monitoreo de la calidad del agua.

Los enfoques espaciales y temporales son necesarios para comprender mejor los componentes biológicos y físico-químicos de la calidad del agua (Bahar et al., 2008; Goldstein et al., 2006; Lamert and Allan, 1999; Novotny et al., 2005). De hecho, desde el 2005 los estudios que combinan estas dimensiones de los índices de calidad de agua aumentaron considerablemente de cara a la creciente presión humana sobre los cuerpos de agua (Craig et al., 2017; Uuemaa et al., 2012).

Por otra parte el ambiente no es exclusivamente un espacio físico, sino también una construcción social (Greider and Garkovich, 2010). Un mismo espacio físico bien puede tener significados diferentes según los individuos.

Para comprender mejor la degradación de los recursos naturales, puede también abordarse el estudio de las percepciones sociales del medio ambiente, de las cuales Lefebvre (1974) indica son el reflejo de las relaciones entre el ser humano y el ambiente. Por otra parte, Fernández Moreno (2008), subraya la necesidad de realizar estudios de percepción ambiental afín de “contribuir a la concepción de políticas ambientales verdaderamente públicas, más inclusivas y de interés general.

En efecto, para satisfacer sus necesidades, las personas utilizan bienes y servicios ambientales (Camacho-Valdez and Ruiz-Luna, 2012). Los recursos naturales son así sometidos a alteraciones que pueden sobrepasar las capacidades regenerativas de los ecosistemas.

El impacto antropogénico sobre la biosfera ha sido estudiado en el « continuum » entre las eras geológicas desde el Pleistoceno al Holoceno dando recientemente nacimiento al “Antropoceno” (Braje and Erlandson, 2013), de cara a la magnitud de las presiones antropogénicas a escala planetaria (Crutzen, 2002). Estas presiones tienen como graves consecuencias, la reducción de la biodiversidad, la impermeabilización y la pérdida de suelos, el cambio climático... (Muller, 2009).

En 1968, el ecólogo Hardin describe los comportamientos independientes pero racionales de los individuos, que motivados por su propio interés personal, terminan por agotar los recursos naturales limitados, compartidos y comunes. Él ha denominado este problema “sin solución técnica”, la “tragedia de los comunes”. Para prevenir esta fatalidad, Hardin indica la necesidad de una cohesión mutua, incluso de una coerción mutua.

La economista Elinor Östrom (2009) analiza las capacidades de auto-organización de los usuarios en los sistemas socioecológicos, destacando la acción de los usuarios en la gestión de los recursos naturales. Sin embargo, ¿en qué medida los miembros de una comunidad de usuarios pueden organizarse para hacer frente a los desafíos ambientales y en particular los ligados al agua?

En esta cuestión, resulta pertinente estudiar las relaciones entre los recursos naturales y los usuarios. Al tratarse del agua, estas relaciones son muy diversas. El análisis se hace a menudo ya sea considerando el agua como recurso, o bien como medio ecológico. No obstante, la combinación de ambos enfoques es indispensable: el agua es tanto un recurso para el desarrollo de las actividades humanas y un elemento fundamental de la integridad ecológica, y particularmente de los ríos.

El usuario, pieza clave de este trabajo, es un objeto de estudio complejo. Se trata de individuos, o grupos que protegen, degradan, se benefician o son afectados – incluso potencialmente- por la integridad ecológica del río en cuestión, así como de la disponibilidad de agua.

Los usuarios pueden ser descritos por diferentes características: su número y localización, sus características socioeconómicas, sus prácticas y usos, sus conocimientos del sistema ecológico y su capacidad para identificar y jerarquizar los desafíos (Östrom, 2009).

Ya sea que se trata de la cohesión mutua preconizada por Hardin, o de la auto-organización de Östrom, el conocimiento y la comprensión de las percepciones y representaciones de las personas es entonces primordial en el estudio de la degradación de los recursos naturales.

Según Rivière-Honegger et al. (2014), este conocimiento permite comprender las relaciones entre las personas y el medio natural, así como las diferentes posturas y demandas existentes alrededor de luso. Conocer las percepciones prepara los debates propios de la definición de los planes de gestión. Este conocimiento puede finalmente orientar la integración de los usuarios en las acciones de conservación y restauración de los cuerpos de agua (Brinkman et al., 2012; Farnham et al., 2017; Taylor and de Loë, 2012).

La interacción entre los seres humanos y los ríos a proximidad de zonas urbanas significa con frecuencia extracciones de agua, vertido de aguas residuales, depósito de desechos sólidos, extracción de grava y arena, canalizaciones, entubados, artificialización de las riberas... así se configura la *tragedia de los comunes* de la cual son objeto los ecosistemas acuáticos. En América Central estas prácticas son claramente identificadas como las principales presiones sobre los cuerpos de agua superficial de las zonas urbanas (GWP Centroamérica, 2017; Estado de la Nación, 2016). En Costa Rica, a pesar de la normativa ambiental vigente y de una política desarrollada alrededor del concepto de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), se constata una degradación continua de los hidrosistemas (Contraloría General de la República de Costa Rica, 2013; Sagot, 2009).

Estudios analizando la relación entre los usuarios y los cuerpos de agua degradados han sido realizados en Costa Rica. Santos et al., (2017) estudian según características socio-económicas, la percepción de los habitantes de la Gran Área Metropolitana de San José (GAM), capital del país, en particular del río Ocloro. Suárez Serrano et al., (2015) ponen en evidencia, a partir de experiencias de investigación-acción, la importancia de la participación ciudadana en la escala de

la micro-cuenca (esto es a nivel local). Ahí una vez más, el análisis fue realizado en la GAM. Las ciudades que quedan fuera de la GAM, son para estos efectos poco estudiadas al tiempo que se constata el mismo comportamiento de degradación de los hidrosistemas en zona urbana (Theodoro Mezger, 2016). Liberia, capital de Guanacaste (Pacifique Nord), ha sufrido un fuerte crecimiento urbano a lo largo de los últimos decenios (Espriella, 2007) y es un caso representativo de las ciudades periféricas.

Habiendo descrito la importancia de los enfoques biofísicos y sociológicos para la comprensión de las presiones y del estado de los cuerpos de agua, el objetivo de la tesis es el de contribuir en el conocimiento de la calidad del agua tanto como recurso **tanto** como medio, en el contexto de una ciudad intermedia atravesada por un pequeño río dotado de afluentes intermitentes. Se trata de unir los esfuerzos de monitoreo reglamentario por medio de indicadores, y percepción, conocimientos y prácticas orientadas al empoderamiento de los usuarios. Tres sub-objetivos pueden ser definidos a partir de las siguientes preguntas:

- ¿Los índices reglamentarios de Costa Rica son eficaces para dar cuenta de la calidad del agua?
- ¿La percepción del río por los usuarios es consistente para describir la calidad de agua?
- ¿El cruce de estas dos formas de conocimiento permite mejorar la evaluación de la calidad del agua?

La tesis se articula en cinco capítulos. El modelo de urbanización latinoamericano y la puesta en marcha de políticas sanitarias y ambientales de Costa Rica, que componen el contexto de la problemática son tratados en el capítulo I. El capítulo II describe el contexto geográfico del estudio, la cuenca del río Liberia, cuenca sobre la cual se encuentra la ciudad de Liberia. En el capítulo III, se evalúa la eficacia de los índices de calidad de agua reglamentarios para dar cuenta de las presiones antropogénicas a diferentes escalas. El capítulo IV estudia la relación de los usuarios con el hidrosistema cruzando percepción del estado del río con las prácticas de visitación de la población ribereña. El capítulo V estudia los aportes de los desfases entre los conocimientos biofísicos obtenidos del capítulo III y de la percepción de los usuarios estudiada en el capítulo IV.

I. Eléments de contexte du Costa Rica

Informe sinóptico: Elementos de contexto de Costa Rica

El contexto costarricense de este trabajo se inscribe alrededor de la relación de los seres humanos con los cuerpos de agua anclada históricamente en América Latina en un modelo de expansión urbana que se reprodujo en Costa Rica desarrollando presiones antropogénicas ejercidas sobre los hidrosistemas. Se presentan en primer lugar los desafíos de la expansión urbana de América Latina y de la Gran Área Metropolitana de San José (GAM) y en segundo lugar se describe el desarrollo costarricense de una política de estado ambiental en el que enfoques sanitarios y de conservación se han dado la mano.

En Centroamérica como en América Latina en general, las ciudades comparten un modelo de expansión urbana anclado desde la implantación colonial europea (Martínez, 1970). A menudo instalados a orillas de ríos (e.g. Samalá, Lempa, Tempisque) y de lagos (e.g. Cocibolca, Atitlán, Apoyo), los asentamientos se organizaron alrededor de una cuadrícula urbana que favorecía la vida social y los intercambios. Estos espacios construidos se fueron entonces ampliando en función de fenómenos demográficos y migratorios atrayendo poblaciones de medios rurales, des otras ciudades y también de otros países.

A lo largo del siglo XX, las ciudades se convirtieron en polos importantes de desarrollo de los países. El número y tamaño de las ciudades latinoamericanas no dejó de aumentar dando nacimiento a más de 16 000 ciudades de las cuales destacan: tres metrópolis con más de 15 millones de habitantes (Ciudad de México, Sao Paulo, Buenos Aires) y un centenar de ciudades de más de 500 000 habitantes. A escala de cada país y en función de factores demográficos, factores ligados a la descentralización y a factores socio-económicos, las ciudades “pequeñas” están definidos como las ciudades intermedias. Estas ciudades llamadas intermedias son cada vez más importantes por su influencia e integración con el medio rural, su relación con las ciudades capitales (capitales políticas y económicas) y globales (influencia a escala planetaria), son cada vez más importantes (Canziani Amico et Schejtman, 2013).

La intensificación del desarrollo urbano de Costa Rica comenzó en 1950 en el contexto del modelo de sustitución de exportaciones. Los centros urbanos se desarrollaron en las capitales de las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia, Liberia, Puntarenas y Limón. El valle central del

país sufrió entonces un proceso de aglomeración caracterizado por la “formación de una esfera regional estructurada sobre la base de actividades económicas y sociales” en la cual comenzó una tercerización de la economía y se pusieron en marcha las primeras políticas de ordenamiento territorial (Alvarado et Cullel, 1987). El país desde entonces ha enfrentado considerables dificultades político-administrativas para poner en marcha este tipo de políticas (Rodríguez, 2014).

1.1. Les enjeux de l'expansion urbaine sur les cours d'eau en Amérique Latine

Le contexte costaricien s'inscrit autour d'une relation humaine avec les cours d'eau fortement ancré historiquement en Amérique Latine par un modèle d'expansion urbaine. On présente ensuite le cadre des réglementations environnementales et sanitaires du Costa Rica

1.1.1 Les modèles urbains communs en Amérique latine

En Amérique Centrale tout comme en Amérique Latine en général, les villes partagent un modèle d'expansion urbaine ancré depuis l'implantation coloniale européenne (Peláez, 1970). Souvent installées aux bords des rivières (e.g. Samalá, Lempa, Tempisque) et des lacs (e.g. Cocibolca, Atitlán, Apoyo), les implantations se sont organisées autour d'un quadrillé urbain qui favorisait la vie sociale et les échanges. Les sites retenus étaient déjà ou non occupés par les populations indigènes. Ces espaces bâtis se sont ensuite agrandis en fonction de phénomènes démographiques et migratoires, attirant populations des milieux ruraux, d'autres villes et d'autres pays.

Au cours du XX^{ème} siècle, les villes sont devenues des pôles importants de développement des pays. Les nombre et taille des villes latino-américaines n'ont cessé de croître (Figure 1), donnant naissance à plus de 16 600 villes, dont trois métropoles avec plus de 15 millions d'habitants (Ciudad de México, Sao Paulo, Buenos Aires) et une centaine de villes de plus de 500 000 habitants. Les plus nombreuses, les villes moins peuplées, grandissent plus vite (avec un taux annuel de 3,7 %) que les moyennes (1,5 %) et que les grandes (2,4 %) de telle sorte qu'on se trouve dans une reconfiguration de la structure et des relations entre les villes. À l'échelle de chaque pays, en fonction des facteurs démographiques, des facteurs liées à la décentralisation et des facteurs socio-économiques, des « petites » villes sont définies comme des villes intermédiaires. Ces villes dites intermédiaires sont de plus en plus importantes à cause de leur influence et intégration avec le milieu rural, et leur relation avec les villes capitales (capitales politique et économique) et globales (rayonnement à l'échelle planétaire), sont de plus en plus importantes (Canziani Amico et Schejtman, 2013).

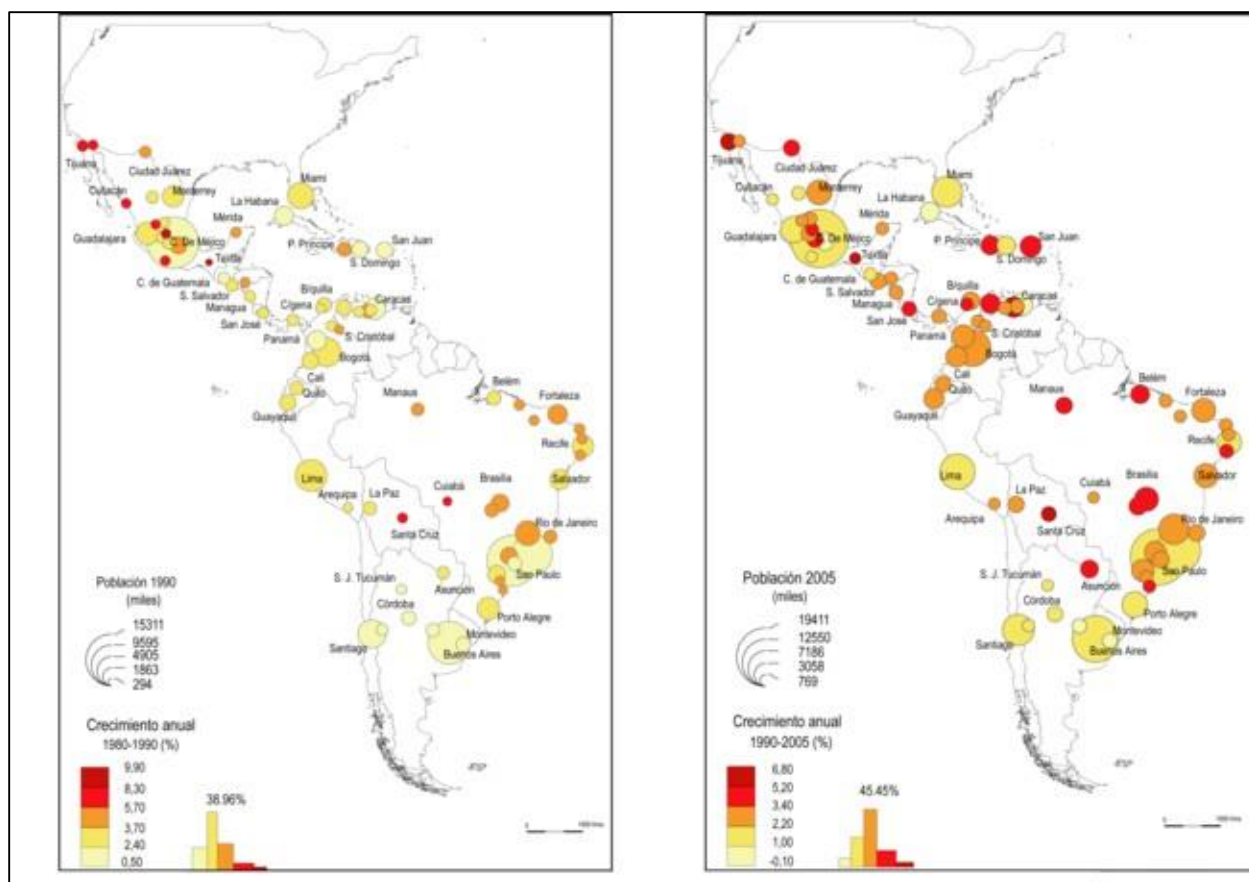


Figure 1. Evolution démographique des villes en Amérique Latine entre 1990 et 2005 (Montoya, 2009).

1.1.2 La Grande Aire Métropolitaine (GAM), modèle centralisé d'expansion urbaine du Costa Rica

L'intensification du développement urbain au Costa Rica a commencé en 1950 dans le contexte d'un modèle de production agricole renforçant les exportations agricoles et substituant les importations. Les centres urbains se sont développés dans les capitales des provinces de San José, Alajuela, Cartago, Heredia, Libéria, Puntarenas et Limón. La vallée centrale du pays subit ainsi un processus de métropolisation caractérisé par la "formation d'une sphère régionale structurée sur la base d'activités économiques et sociales" dans laquelle commence une tertiarisation de l'économie et se mettent en place les premières politiques d'aménagement du territoire (Alvarado et Cullel, 1987). Le pays a en effet fait face à considérables difficultés politico-administratives pour mettre en place des politiques d'aménagement du territoire (Rodríguez, 2014).

L'Institut du logement et de l'urbanisme (INVU) contient les compétences de se conformer aux dispositions de la loi n° 4240 sur l'urbanisme (1968). Le premier instrument élaboré à ces fins a été réalisé pour la région métropolitaine du pays dite « *Grán Area Metropolitana* » (GAM), le plan GAM 82, qui visait à limiter l'expansion urbaine sur les flancs montagneux voire à interdire au-dessus d'une certaine altitude. L'instrument a servi longtemps en tant que plan réglementaire. Ce plan a introduit des notions de zonage et de restriction d'activités humaines par le biais de règlements définissant un anneau de confinement urbain.

Le Plan GAM 82 a été suivi par le CODEGAM (1996), le Plan Régional d'Urbanisme du GAM (PRUGAM), qui, bien que jamais mis en œuvre, a établi des critères techniques de fragilité et de risque environnementaux ; et par le Plan d'aménagement du territoire de la grande région métropolitaine (POT/GAM 2011-2030). Celui-ci a été actualisé dans le Plan GAM 2013 et mis finalement en vigueur par le Décret n°38145-PLAN-MINAE-MIVAH-MOPT-S-MAG d'avril 2014.

A l'heure actuelle, le Plan GAM 2013 est l'instrument national le plus important de planification urbaine. Il a pour buts de renforcer les droits, la participation citoyenne et l'administration publique. Y-sont compris la gestion des risques, la continuité, l'identité des paysages, l'adaptation au changement climatique et la neutralité de carbone. Les instruments d'aménagement territorial proposés cherchent à orienter le financement, développement et la génération intégrée des territoires urbains, ruraux et naturels pour un développement compétitif et durable.

La GAM concentre actuellement 66 % de la population sur le 16 % du territoire national continental (315 hab/km²) et exerce une influence très forte sur tout le pays. La zone ne cesse de s'élargir (50 % entre 1982 et 2012) par le biais de processus de conurbation où les zones agricoles (café principalement, élevage) ont été remplacés par urbanisations. L'étude sur la métamorphose urbaine territoriale de la vallée centrale (Martínez et Agüero, 2014) identifie six grands problèmes dans les patrons de cette métamorphose urbaine : une ségrégation sociale, une faible mobilité et connectivité régionale, un risque et une vulnérabilité face au changement climatique, des conditions touristiques peu exploitées, une dégradation des ressources naturelles et leur contamination, une expansion horizontale urbaine et la dégradation de l'habitat.

Pourtant, en dehors de la GAM, les sept villes dites intermédiaires (Ciudad Quesada, Guapiles, Liberia, Limon, Puntarenas, San Isidro del General et Turrialba) élargissent leur tâche

urbaine entre 30-40 % plus rapidement que la GAM. Malgré leurs faiblesses socioéconomiques, elles constituent de pôles d'attraction inter-cantonale en matière de travail et d'activité économique et contiennent une présence institutionnelle forte (présence de tribunaux, hôpitaux, universités...) de telle sorte qu'elles exercent une hégémonie territoriale dans leur région d'influence.

Alors qu'elles sont moins denses, moins compactes et plus dispersées que la GAM, les villes intermédiaires reproduisent et parfois dépassent, ces mêmes erreurs d'aménagement territorial particulièrement en ce qui concerne la dégradation des ressources naturelles, de l'eau et des milieux aquatiques.

1.2.D'une politique sanitaire et de conservation à la gestion de l'eau et des milieux aquatiques

L'État du Costa Rica a réussi avec un certain succès à combiner aux objectifs historiques de santé publique, des objectifs environnementaux au profit des droits et de la qualité de vie des habitants. Des accords internationaux, des articles constitutionnels, des lois et des règlements ont été signés par les pouvoirs de l'État et constituent actuellement un cadre réglementaire et institutionnel riche et complexe.

1.2.1. Une réglementation de Santé publique responsabilisant les individus dans la protection de l'environnement et des milieux aquatiques

L'origine de la politique sanitaire costaricienne remonte au XIX^{ème} siècle. En 1983, Mohs résume le développement de la Santé Publique, en trois périodes :

- 1850 – 1900 avec la médecine de secours de base ;
- 1900 – 1940 avec l'organisation de la santé publique par des œuvres caritatives ;
- 1940 - 1970 avec la médecine publique préventive spécialisée.

Au cours de ces périodes, le développement scientifique et technique a conduit au renforcement d'une culture sanitaire par des efforts éducatifs importants. Les multiples indicateurs de santé de la population nationale ont été améliorés sensiblement le long du XX^{ème} siècle. Le taux de mortalité pour 100 000 habitants due à la diarrhée, une maladie d'origine hydrique, a fortement chuté, passant de 300 à 400 décès en 1930 à environ 10 en 1980 (Mohs, 1983).

Les objectifs des premières lois environnementales étaient des objectifs de salubrité, i.e. de protéger la ressource destinée à la consommation humaine. Avec l'adoption de la loi n° 276 sur l'Eau en 1942, le cadre normatif général de l'eau est établi de façon implicite, dans son concept large : en tant que ressource et milieux aquatiques. L'eau est définie, à quelques exceptions près (comme par exemple, l'eau de pluie), comme un bien public. La loi sur l'eau prévoit déjà les premières mesures –précisées ultérieurement par la loi n° 7575 Forestière (1996) - de conservation de la couverture boisée des cours d'eau pour l'entretien des sources. La loi sur l'eau prévoit également des peines et des sanctions pour différents comportements tels que les détournements de l'eau ou le dépôt sauvage de déchets qui nuisent à la ressource et aux milieux aquatiques.

L'approvisionnement en eau potable et l'assainissement deviennent compétences institutionnelles avec la promulgation des lois n° 1634 de l'Eau Potable (1953) et n° 2726 constitutive de l'Institut Costaricien des Aqueducs (i.e. systèmes d'adduction d'eau potable) et des Égouts (AyA) (1961). Cette loi établit l'AyA comme l'institution portant le rôle d'autorité publique et de direction technique, régie nationale et centralisée. La loi n° 6227 de l'Administration Publique (1978) lui accorde la possibilité de déléguer ces services aux municipalités et en particulier aux systèmes communaux d'eau potable et d'assainissement, les Associations d'Administration des Systèmes d'Aqueducs et Egouts Communaux (ASADAS) qui existaient déjà (règlement n° 32529-S-MINAE de 2005).

La loi n° 5395 de la Santé, en 1973, introduit la notion de salubrité environnementale en déclarant les droits et devoirs des individus concernant la santé individuelle, la santé des tiers et de l'environnement. Chaque individu doit contribuer à la préservation et la conservation de l'environnement (article 262). La loi contient des articles spécifiques pour l'eau (articles 264 à 277) dans lesquels sont décrites les règles concernant l'approvisionnement, les usages ou toute action exerçant une pression sur l'eau. Les articles concernant l'élimination de déchets solides ont été abrogés lors de la promulgation de la loi n° 8839 de la Gestion intégrale de déchets solides (2010) qui met en tant qu'autorité publique locale les municipalités et en tant qu'autorité nationale le Ministère de la Santé.

Ainsi, peut-on conclure que la politique environnementale du cas costaricien passe souvent par une approche de santé publique où l'eau a été considérée comme élément fondamentale.

1.2.2. L'engagement national de conservation de la nature et les stratégies de surveillance de la qualité des rivières

L'engagement national du pays envers la conservation de la nature s'est développé au XX^{ème} siècle, surtout à partir des années soixante-dix. Durant la première moitié du siècle, la politique foncière était orientée par les politiques expansives de colonisation des terres qui favorisaient des changements d'occupation des terres forestières en déplaçant la frontière agricole. Cependant, le Costa Rica a vite adhéré aux politiques internationales de développement durable promues par l'Organisation des Nations Unies (ONU). La législation environnementale du Costa Rica est désormais fondée sur cinq normes constitutionnelles, de nombreux traités internationaux, des lois, des règlements. Ainsi, des politiques publiques spécifiques encouragent les efforts institutionnels de conservation de la nature et de l'environnement.

Deux normes constitutionnelles générales encadrent la protection du *droit à un environnement sain et équilibré* (article 50). Les lois protègent la biodiversité, les sols, les ressources hydriques, traitent l'industrie minière et l'énergie, réglementent les espèces animales et végétales ainsi que la santé et le contrôle de la pollution du paysage acoustique (Sagot, 2009).

Le Plan National pour la Gestion Intégrée des Ressources Hydriques (MINAE, 2008), la Politique Nationale d'Assainissement des Eaux résiduelles (2016) et la Politique Nationale des Zones Humides (2017) sont les politiques nationales en vigueur spécifiques en matière de l'eau. Ces politiques sont transmises aux différents niveaux de gestion à travers les institutions et organismes de l'Etat qui sont en lien avec la gestion de l'eau. En particulier, il s'agit de préserver les masses d'eau en quantité et en qualité suffisantes pour assurer leur intégrité écologique. Cependant, le Costa Rica manque d'efforts systématiques et continus de surveillance de la qualité de l'eau des rivières de telle sorte qu'ils ont été jusqu'à présent très dispersés et isolés. Ce n'est qu'en 2013, que le Ministère de l'Environnement et de l'Énergie (MINAE) a finalement publié le Plan National de Surveillance de la Qualité des Cours d'Eau conçu en étapes d'exécution pendant cinq ans (un an pour chacune des cinq régions du pays : 1. Pacifique central, 2. Caraïbe, 3. Pacifique nord, 4. Nord et 5. Pacifique sud). Le plan se sert du « Règlement pour l'évaluation et la classification de la qualité d'eaux de surface » (MINAE, 2007) qui sera décrit chapitre 3.1.1. La périodicité des prélèvements y est indiquée sommairement en fonction des saisons sèches, saisons des pluies et les transitions.

II. Caractéristiques géographiques et sociales de la zone d'étude, une rivière au cœur d'enjeux environnementaux

Située dans la région du Pacifique Nord ou Guanacaste, la zone d'étude est la partie amont du río Liberia, affluent du Tempisque (Figure 2). Dans un premier temps est présentée la géographie physique du bassin versant du río Liberia, dans un deuxième temps, les enjeux territoriaux de la ville de Liberia homonyme de la rivière qui la traverse, et dans un troisième temps, la géographie humaine de la ville de Liberia, qui constitue la limite aval de la zone d'étude.

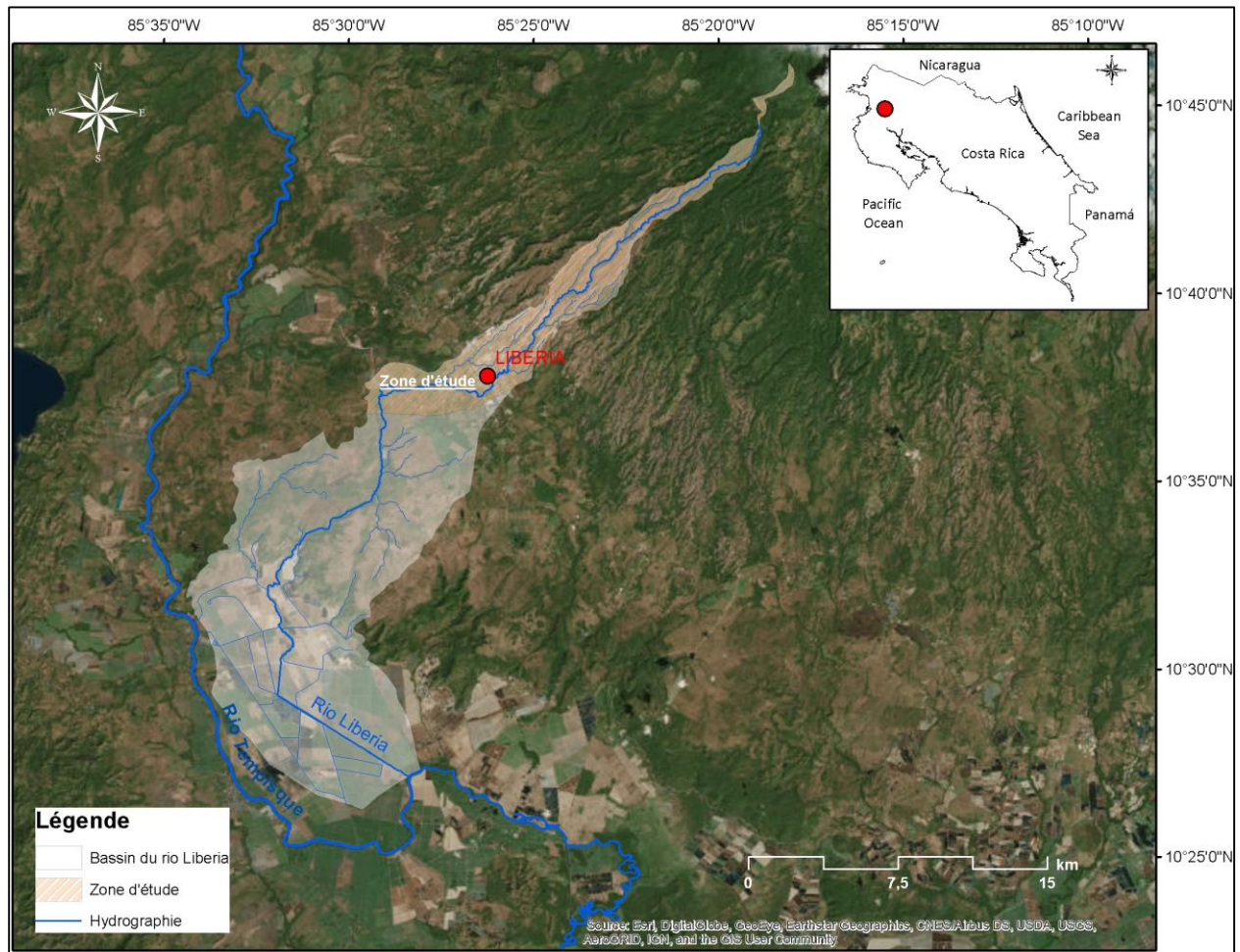


Figure 2. Localisation de la zone d'étude dans le bassin du río Liberia.

2.1. Géographie du bassin versant du río Liberia

2.1.1 Climat

Le climat du Costa Rica est fortement déterminé par la topographie et la prédominance des vents alizés en provenance du nord-est. Selon l'institut météorologique national (IMN), ces facteurs permettent de découper le pays en régions et sous-régions climatiques. Caractérisé par des fortes températures, le Pacifique Nord est une région climatique composée de quatre sous-régions : l'Occidentale de la Péninsule de Nicoya PN₁, la Centrale du Pacifique Nord PN₂, base et contreforts de la cordillère de Guanacaste et de Tilarán PN₃, et la basse plaine des fleuves Barranca et Tárcoles PN₄. Les climats PN₁ et PN₂ sont des climats de sécheresse, alors que les climats PN₃ et PN₄ sont pluvieux d'influence de mousson (Coen, 1967; Solano, 1996).

Le bassin du río Liberia est sous l'influence des climats PN₂ et PN₃. Le climat du bassin versant est classé comme subhumide sec, très chaud, et se trouve affecté par le phénomène météorologique El Niño-Oscillation du Sud (ENOS). La moyenne des précipitations annuelles entre 1957 et 2017 est de 1 585 mm. L'année 2015 présente la précipitation annuelle la plus faible de la période jamais enregistrée (640 mm) et 1999 la plus forte (2 752 mm).

Une première saison des pluies se produit entre mai et août, avec un premier pic de précipitations en juin, suivi d'une courte période sèche causée par l'intensification des alizés. La deuxième saison des pluies dure de septembre à novembre, septembre et octobre étant les mois où l'influence des cyclones est la plus forte et novembre le mois de transition vers la saison sèche. La température moyenne annuelle est de 27,8°C avec des valeurs mensuelles extrêmes relativement constantes : les valeurs minimales varient entre 21°C en décembre et 23,7°C en juin et les valeurs maximales varient entre 31,1°C octobre et 36°C en avril. (Figure 3 ; IMN, 2008; Solano Quintero and Villalobos Flores 2001).

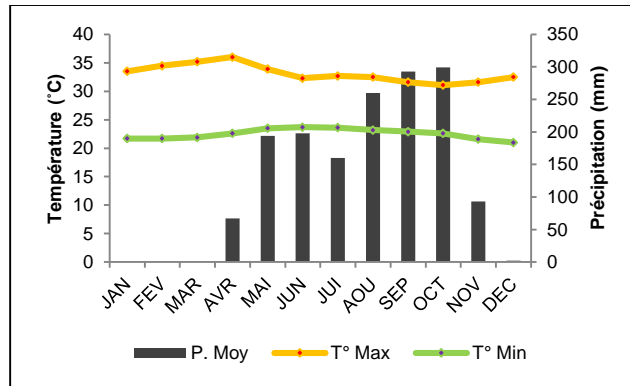


Figure 3. Climogramme de la station Liberia (2010-2015) (IMN, 2016).

2.1.2. Relief et Géologie

Le río Liberia naît sur le flanc sud de la Cordillère Volcanique de Guanacaste, versant Pacifique à proximité du volcan Santa María (1916 msnm). La Figure 4 présente le profil en long du cours d'eau pour la zone d'étude en indiquant les points des stations de mesures qui seront décrites plus précisément dans le chapitre III. Les plus fortes pentes du massif se trouvent au-delà des 600 msnm. Le plateau, entre 100 msnm et 900 msnm, subit des incisions profondes en canyons qui diminuent progressivement avant d'atteindre une longue plaine d'inondation. Cette dernière recouvre la surface la plus importante du bassin avant de trouver sa confluence avec le Tempisque à 10 msnm d'altitude. La ville de Liberia se trouve entre les points S₃-Lm et S₆-Pt dans des conditions de faible pente.

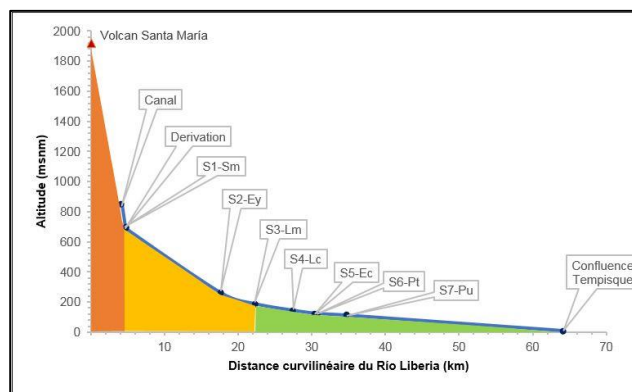


Figure 4. Profil en long du río Liberia en trois niveaux de pente (rouge = forte, jaune = moyenne, verte = faible).

La géologie du bassin de la zone d'étude se compose de deux sections distinctes (Figure 5) une zone orientée vers sommet du massif qui présente des matériaux volcaniques. Cette zone est vite remplacée par un plateau composé des ignimbrites caractéristiques de la région.



39

prédominance de tufs et d'ignimbrites rhyolithique, dactite et quartzolithique dans ce dernier champ (Janzen, 1991).

La Formation Liberia (Figure 6) date du Pléistocène et repose sur la formation de Bagaces (unités 1, 2 et 3) du Pliocène. Elle est constituée d'un tuffeau blanc de composition rhyotytique, et ignimbritique vers les parties inférieures. La formation se caractérise d'être bien exposée dans la rivière Liberia et dans la ville, qui pour cette raison est nommée la "Ciudad Blanca" (La ville Blanche) (Janzen, 1991). Cependant, l'aquifère (Bagaces 2) se trouve à une profondeur au-delà des 110 m.

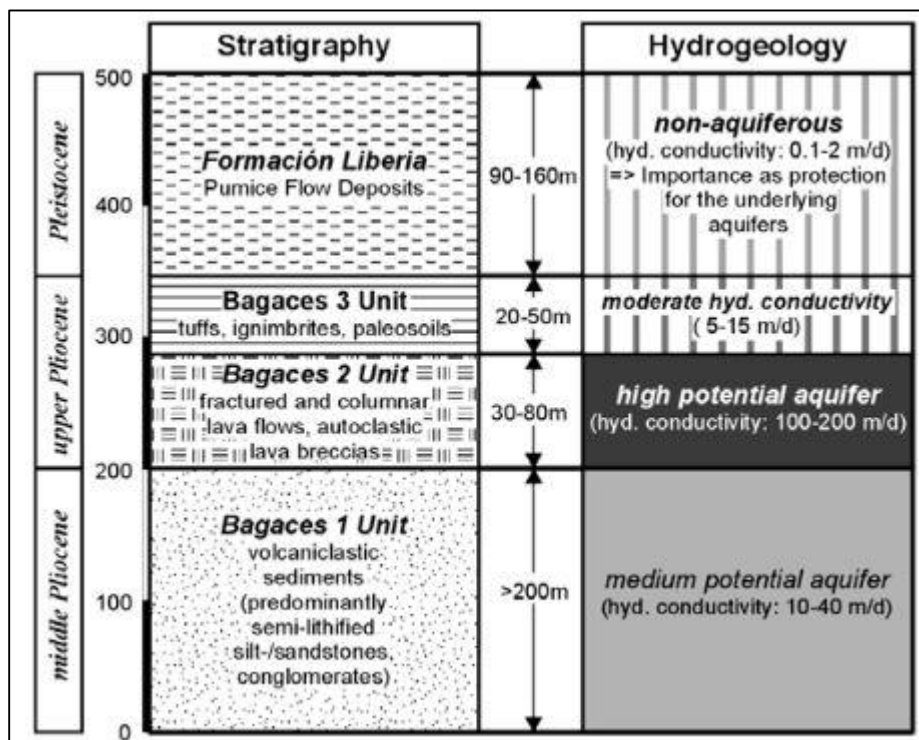


Figure 6. Colonne stratigraphique et profil hydrogéologique de la Meseta Ignimbritica (Mende et al., 2007)

2.1.3. Hydrographie

Les caractéristiques du relief, géologiques et météorologiques configurent une hydrographie intermittente voire éphémère (Figure 7), les ruissellements et la décharge s'effectuent très rapidement. Les ruisseaux dits « *quebradas* », se versent sur le río Liberia sur sa partie amont et intermédiaire. Les trois ruisseaux affluents principaux du bassin versant sont : Danta, Carreta,

Piches et l’affluent urbain de celui-ci, le Panteón, qui rejoint le Liberia à l’aval de la ville (Figure 8).



Figure 7. Affluent éphémère du río Liberia à proximité de « Finca El Yugo ».

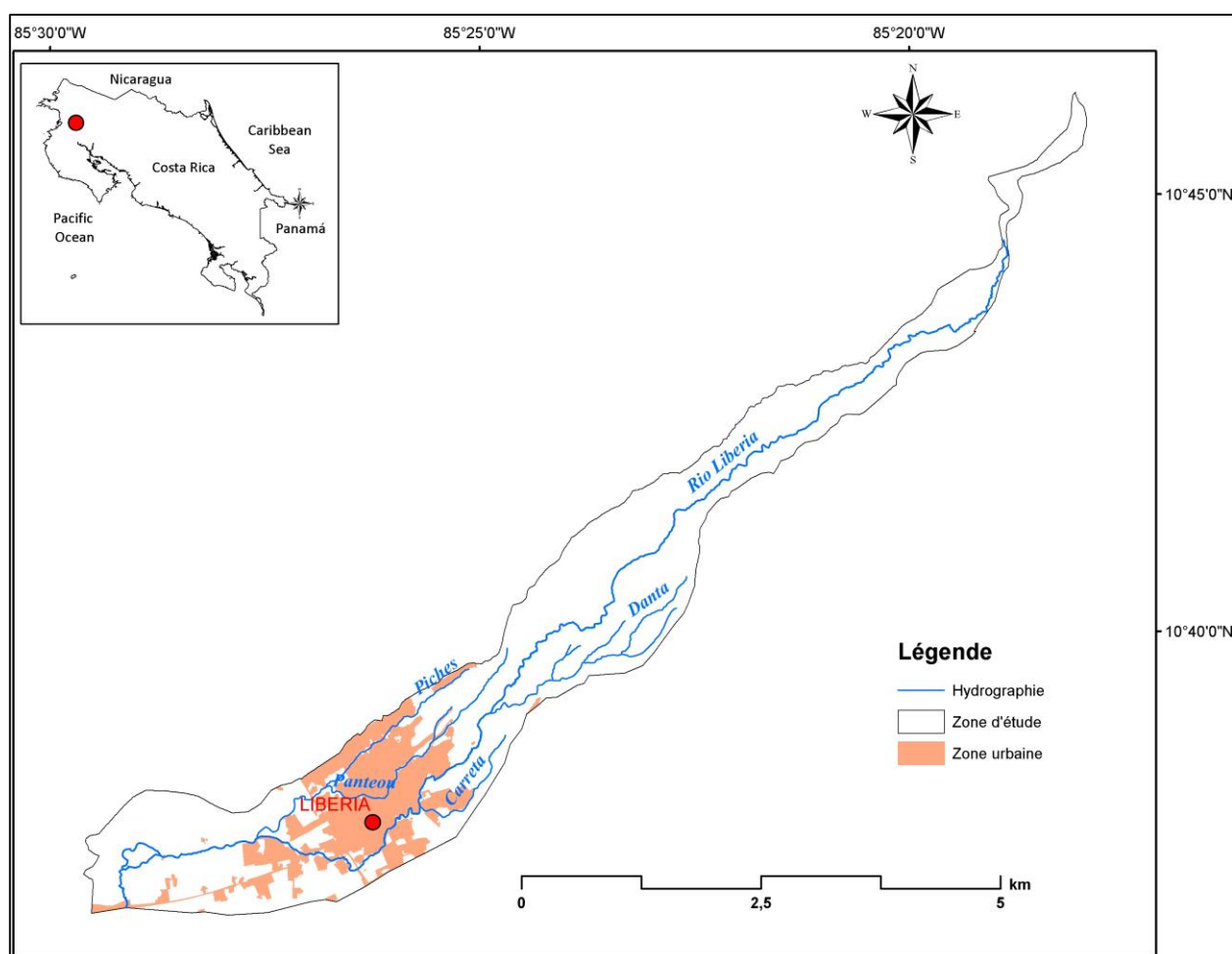


Figure 8. Hydrographie de la zone d’étude.

Le fonctionnement hydrologique du río Liberia est très influencé par les canaux d'alimentation du río Liberia à l'amont du bassin, le prélèvement au niveau de la station de potabilisation d'eau, le rejet de la station de traitement des eaux usées. Enfin, de nombreux rejets domestiques et pluviaux augmentent le débit du cours d'eau, dans sa partie urbaine du principal ainsi que celui des ruisseaux : ces points ne sont pas tous identifiés, car il peut s'agir de rejets sauvages. Tout ceci complexifie la connaissance et la compréhension de l'hydrologie du río Liberia et de ses affluents. Il s'agit d'un travail important en soi qui n'a pas été mené dans cette thèse. De plus, l'accès même à l'information liée au canal d'alimentation, l'usine d'eau potable et la station d'épuration est très compliqué et chronophage : les gestionnaires limitent l'accès à l'information ou donnent une information incomplète et/ou hétérogène spatialement et temporellement. Dans les parties qui suivent sont consignés tous les éléments qui ont pu être collectés auprès des gestionnaires et par la bibliographie.

Le débit du río Liberia est donc, dès l'amont, régulé en étant alimenté par un canal d'approvisionnement construit à 870 msnm dans le secteur Santa María du parc national Rincón de la Vieja. La section agrandie de la feuille cartographique « Curubandé » (Figure 9), indique que le canal récupère les eaux des ruisseaux qui drainent les flancs du volcan : Provisión, Rancho Grande, Mora, Leiva et Gurierrez, (versant Atlantique) et du ruisseau Zopilote (versant Pacifique). Les infrastructures hydrauliques qui sont décrites dans ce chapitre sont gérées par l'AyA.



Figure 9. Río Liberia amont : Canal d'alimentation du Río Liberia dans le secteur Santa María du parc national Rincón de la Vieja (Section agrandie de la feuille cartographique "Curubandé" de l'Institut Géographique National - IGN (2017).

Le canal qui passe sous la route nationale n° 918 à 738 msnm y rejoint une infrastructure de répartition (Figure 10) au lieu-dit « El Chorro », qui partage le débit pour le río Liberia et le río Santa Inés. Pour rejoindre le río Liberia, le débit continue sur une canalisation d'environ sept mètres sur laquelle l'eau gagne de la vitesse et provoque une incision du lit récepteur.



Figure 10. Infrastructure de dérivation vers le Liberia, secteur Santa María.

La deuxième influence se situe au niveau du barrage qui régule le prélèvement d'eau de la ville pour alimenter la station de potabilisation de l'eau. Il s'agit de la principale extraction d'eau de la rivière sur le bassin. Cet endroit est désigné comme « La Saca de Agua » par la population : le barrage interrompt le cours d'eau et crée un tronçon de la rivière en un milieu lenthique.

Ensuite, la rivière et les ruisseaux traversent la zone urbaine avec de nombreuses altérations humaines en termes d'invasion de la forêt rivulaire, des rejets du système de drainage des eaux pluviales, des digues de protection d'inondations et de rejets sauvages des domiciles et des commerces... Lors des périodes d'étiage de la saison sèche, des mares temporaires peuvent se constituer le long du lit de la rivière et de ses ruisseaux. En conditions non polluées, ces mares constituent des habitats importants pour la conservation des poissons et des insectes (larves de diptères par exemple).

Finalement, à l'aval de la ville se trouve la station d'épuration d'eaux usées qui collecte et traite une partie des eaux usées et dont le rejet s'effectue dans le río Liberia.

Du point de vue éco-hydrologique, des milieux lotiques prédominent sur les cours d'eau du réseau hydrographique. Néanmoins, les influences anthropiques interrompent la continuité longitudinale et perturbent les débits, altérant ainsi l'hydrosystème et pouvant créer des milieux lenthiques (Figure 11).



Figure 11. Conditions lothiques et lenthiques typiques du río Liberia

2.1.4. Occupation du sol

L'occupation du sol du Costa Rica a été cartographiée par l'Institut Géographique National (IGN) pour les années 1979, 1986-87, 1992, 1996-97, 2000 et 2005 (Fallas G. and Sativsky, 1996). Pour réaliser la cartographie de l'année 1992, l'IGN a effectué une analyse spatiale en combinant cartographie analogique de 1985 (échelle 1 : 200 000) avec imagerie digitale du programme LANDSAT des années 1991 et 1993. Les données vectorisés de 1992 sont disponibles sur l'AtlasCR2014Ver1.1 (ITCR, 2015) et permettent de réaliser la carte pour le bassin du río Liberia (Figure 12). Dix classes sont présentes : une pour décrire le milieu urbain (équivalente à une couverture de 2 % de la surface du bassin), quatre pour les espaces agricoles (77,2 %), quatre naturelles ou semi-naturelles (17,8 %), et enfin de la surface brulée (3,0 %).

Selon cette carte, l'occupation du sol du bassin en 1992 présentait à l'amont une faible anthropisation avec quelques pâturages pour l'élevage. La tâche urbaine de Liberia, mais surtout des pâturages pour le traditionnel élevage de bétail européen (*Bos taurus*) et zébu (*Bos indicus*), s'étendaient sur la partie moyenne du bassin avec d'importantes régions de forêt secondaire et des parcelles de cultures permanentes. La basse plaine essentiellement agricole, présentait les plus larges extensions agricoles, spécialement de la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) et du riz (*Oryza sativa*). Des importantes surfaces brûlées ont été repérées dans le cadre possiblement des activités agricoles notamment, la traditionnelle pratique de nettoyage du terrain (*roza y quema*) ou bien durant la période de récolte de la canne à sucre (*zafra*). L'occupation du sol est pourtant un phénomène dynamique. Ainsi, cette carte requière et fera par la suite, l'objet d'une actualisation.

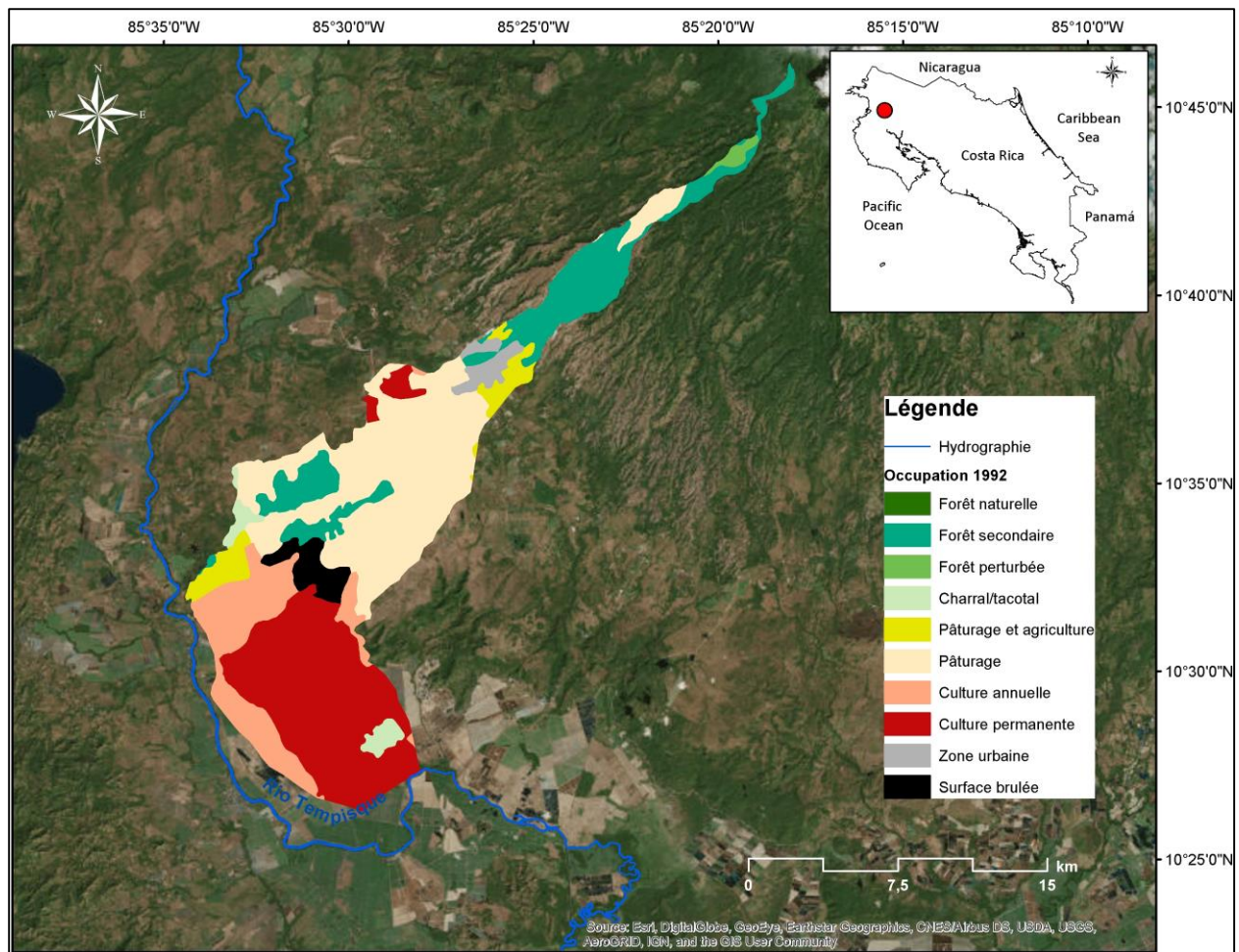


Figure 12. Occupation du sol de 1992 du bassin du río Liberia (ITCR, 2015).

2.2. Liberia, une ville périphérique au cœur d'enjeux territoriaux

La ville de Liberia se situe à l'extrémité méridionale du corridor sec mésoaméricain dans la région Pacifique Nord du pays (10°37'47'' N ; 85°26'16'' O). La ville, qui jouit d'un développement économique important, est soumise à de forts enjeux territoriaux et environnementaux. La croissance démographique, la dynamique inter-cantonale, les enchaînements économiques, le développement et rayonnement de la zone urbaine avec ses multiples services de nature publique et privée sont des facteurs de l'activité humaine qui requièrent de manière croissante des biens et des services fournis par l'environnement. Les lois costariciennes reconnaissent parmi les services environnementaux, la protection des ressources hydriques, la biodiversité et la beauté des paysages. Pourtant, à Liberia, ces services qui sont principalement liés aux hydrosystèmes, subissent de fortes pressions.

2.2.1. Liberia, ville périphérique au cœur du développement de Guanacaste

Le développement de la région Guanacaste a lieu autour de villes principales de cantons qui se trouvent sur la route nationale N°1 (la route transaméricaine), c'est-à-dire Abangares, Cañas, Bagaces sur le sud et La Cruz vers le nord. A l'intérieur de la péninsule de Nicoya, les villes les plus importantes sont : Filadelfia, Santa Cruz, Nicoya, Hojancha et Nandayure. Historiquement, Liberia, ville capitale du Guanacaste, au carrefour de la route nationale N°1 qui relie le pays avec le Nicaragua et les routes qui mènent à l'intérieur de la péninsule de Nicoya, est une référence territoriale à l'échelle nationale depuis le début de l'histoire républicaine. Ainsi on l'identifie comme une des principales villes périphériques du Costa Rica.

« Avec la consolidation de l'économie du café, au milieu du siècle dernier, Puntarenas est devenu le principal port d'exportation du pays et, en 1880, Limón l'a remplacé comme le chemin le plus court pour exporter le café vers les marchés européens et nord-américains. Liberia, a connu une croissance urbaine relativement stable entre 1883 et 1950. Cependant, sa population urbaine en 1950 était presque quatre fois plus petite que celle de Heredia. Il faut ajouter que cette différence se creuse à des degrés extrêmes si l'on prend la ville de San José comme point de départ. » (Alvarado and Cullel, 1987).

La ville a subi une croissance démographique surtout à partir des années 1980. Les recensements nationaux des années 1984, 2000 et 2011 indiquent pour le canton 17 000, 40 000 et 53 000 habitants respectivement (INEC). Désormais, la ville est un pôle régional dynamique

autour du développement d'activités de tourisme, commerciales, services administratifs divers et établissements de santé et de l'enseignant supérieur.

2.2.2. Libéria au cœur d'enjeux environnementaux

Une stratégie très importante à l'échelle nationale pour la gestion des ressources naturelles est la définition des corridors biologiques qui s'inscrit dans le Système National de Conservation (SINAC). Le bassin versant du río Liberia se trouve à l'intérieur du corridor biologique Las Morocochas (ACG-M) de la Zone de Conservation Guanacaste (ACG) du SINAC.

L'ACG-M est bornée par la ville de Liberia dans la section sud-ouest, ainsi que par les villages de Santa Maria, San Jorge, dans le nord-est. Les villages de Limonal, Curubandé, Agua Fría, Guachipelín et El Salto de petite taille sont situés à l'intérieur de la zone du corridor.

Il s'agit d'une zone tampon qui favorise la connectivité de la biodiversité de la péninsule de Nicoya par la cordillère volcanique du Guanacaste avec la vallée du nord versant Atlantique, et sur le Liberia jusqu'aux marées à l'embouchure du fleuve Tempisque. Le corridor biologique relie deux zones naturelles importantes et vulnérables de la région telles que le parc national Rincón de la Vieja et le parc national Palo Verde, zone humide classée d'importance internationale par la convention des zones humides (RAMSAR).

Dans ce contexte le río Liberia est une partie prioritaire dans la gestion du bassin du fleuve Tempisque, alors que différentes institutions s'intéressent à la restauration écologique de cette rivière, aux ressources en eau disponibles, et à la gestion de ses ressources naturelles, afin de trouver des solutions aux problèmes et aux besoins liés aux usages du río Liberia.

2.2.3. Libéria sous tension pour la gestion de l'eau et des milieux aquatiques

Libéria a besoin d'approvisionnement en eau pour répondre aux différents besoins de la ville, représentés en 2017, par 17 721 abonnements au système d'eau potable de l'AyA. Ces abonnés utilisent l'eau pour la consommation humaine, pour les activités domestiques, commerciales et industrielles (notamment hôtellerie et restauration) ainsi que pour divers services du secteur tertiaire (bureaux, services de santé, écoles...) (Nikolaeva et al., 2018).

L'approvisionnement en eau potable est fourni à 66 % à partir de ressources souterraines profondes, au-delà des 110 m de profondeur de l'aquifère à lente infiltration de Liberia (Losilla, 2001; Mende et al., 2007) à 34 % à partir de l'eau de surface du río Liberia (pour l'année 2009). Historiquement la première source d'eau de la ville était le río Liberia :

« La tradition orale nous dit que dans l'emplacement de l'intersection des routes qui communiquaient Rivas (Nicaragua) avec Bagaces et Nicoya, se trouvaient quelques petites haciendas connues comme "El Guanacaste", où au milieu du XVIII^{ème} siècle a commencé à former un village naissant à courte distance du río Liberia. Il a commencé comme un lieu de repos, où après de longues journées de traversée entre le Nicaragua et les villes du Costa Rica, certains voyageurs ont profité de l'ombre des arbres pour se reposer et passer la nuit, et la proximité des ruisseaux pour s'hydrater et leurs animaux, ce site a également été choisi pour être un endroit sec où se reposer en sécurité et où en peu de temps a commencé à apparaître un premier commerce qui allait bientôt donner lieu à cette ville » (Municipalidad de Liberia, n.d.).

Le système d'eau potable couvre désormais la zone urbaine du district de Liberia, s'appuie donc sur onze puits et un prélèvement en rivière. Le prélèvement de l'eau de surface au niveau de la station de potabilisation est individuellement, la plus importante extraction face à chacun des puits qui sont distribués dans la zone urbaine.

A titre d'exemple, en 2009, la production annuelle a été de 6 780 120 m³, dont le mois le plus faible a été celui de novembre avec 509 091 m³ et mai, le plus important avec 639 993 m³. La Figure 13 présente la variation mensuelle de la production d'eau potable par source d'approvisionnement. Le río Libéria, la principale source, a fourni 26 % (140 378 m³) de la production totale au mois de juillet jusqu'à 39 % (204 282 m³) au mois de février.

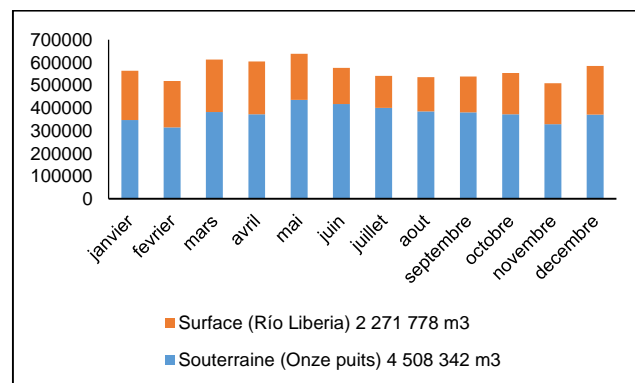


Figure 13. Variation inter-mensuelle de la production d'eau potable par type de source en 2009 (AyA, 2010).

La consommation moyenne durant l'année 2016 est de 147 L/hab/jour pour les abonnés (Nikolaeva et al., 2018). Cependant, cette valeur pourrait être toutefois affectée car le calcul est réalisé à partir de la population permanente et n'intégrerait pas complètement les fluctuations

dues à la population non résidente (travailleurs saisonniers, fonctionnaires, agents commerciaux, touristes et autres) (AyA, 2009). D’après la production de 2009 (6 780 150 m³) et la consommation de 2016 (3 850 033 m³), le taux de pertes pourrait être estimé à 57 %, en appliquant pour les deux années, le même ratio de 4,1 habitants par abonnement ratio officiel dans le rapport mensuel de production d’eau potable -(AyA, 2009). La Figure 14, montre la variation mensuelle de 2016. On observe un pic de consommation au mois d’avril (180 L/hab/jour), qui peut être associé au niveau de sécheresse caractéristique de la fin de la saison sèche, et à l’affluence touristique (que l’on constate avec l’augmentation de vols à l’aéroport international de Liberia constatée le premier semestre de l’année) (Nikolaeva et al., 2018).

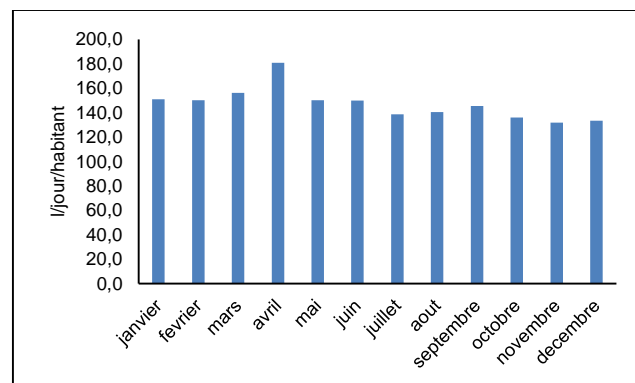


Figure 14. Variation mensuelle de la moyenne de consommation journaliere par habitant en 2016 (Nikolaeva et al. 2018).

Les eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Liberia sont collectées dans un réseau gravitaire. Le réseau du système collectif d’assainissement (Figure 15) conçu pour traiter les eaux usées du centre-ville, date de 1973 avec une extension en 1998. Le système est actuellement composé d’environ 30 km de canalisations pour une surface de couverture de 158 ha. La ville a vécu une expansion importante ce qui a entraîné le fait qu’en dehors de la zone de couverture du système, l’utilisation de fosses septiques est la technique de collecte et de traitement la plus utilisée. Au total, le taux de raccordement dans l’ensemble de la ville est faible. Seuls 26 % des abonnés de l’AyA, sont raccordés au système, c’est-à-dire 2 382 « services », ou environ 10 250 habitants (Valverde Marín, 2012).

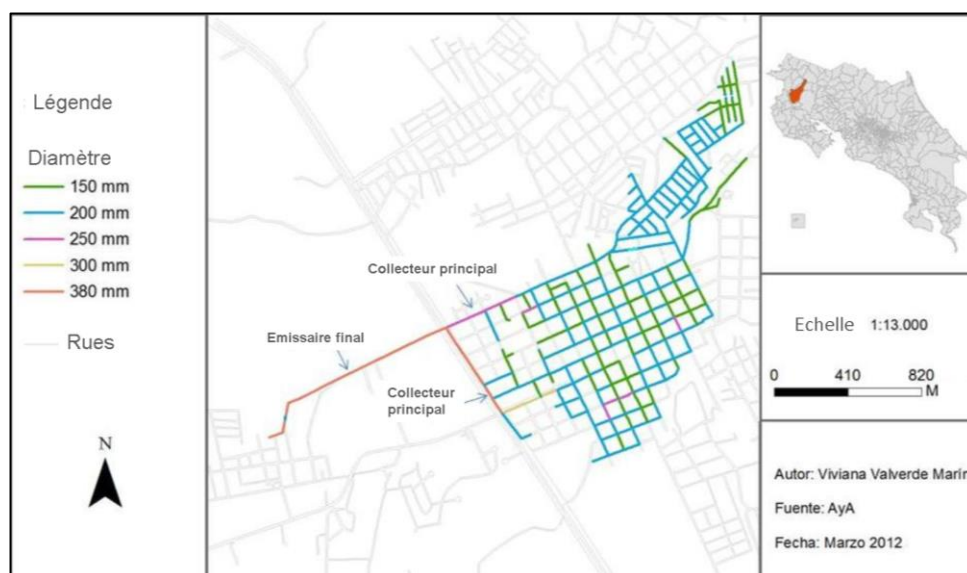


Figure 15. Diamètres du système collectif d'assainissement d'eau usées (Valverde Marin, 2012).

Les eaux usées collectées par le réseau d'assainissement collectif sont traitées dans une station d'épuration par lagunage, localisée dans le quartier Capulín. Selon les données acquises par Abarca Garbanzo (2002), le système composé de deux lagunes primaires et deux secondaires présente une qualité de l'eau conforme (Figure 16) aux normes de rejet (décret n° 26042-S-MINAE), avec des taux d'épuration de 40 % des solides en suspension, 87 % de la matière organique (DBO_5), et de 59 % des graisses et huiles.



Figure 16. Effluent de la station d'épuration d'eaux usées de la ville.

Tableau 1. Débit et charge polluante de la station d'assainissement d'eau usées de la ville de Liberia (Abarca Garbanzo, 2002).

Débit moyen de conception	62,2l/s
Débit moyen d'opération (2002)	31,0 l/s
Débit maximum de conception	75,0 l/s
Débit maximum d'opération (2002)	43,4 l/s
Débit minimum d'opération (2002)	12,6 l/s
Charge organique de conception	1 035 kg DBO/jour
Charge organique d'opération (2002)	493,1 kg DCO/jour

2.3. Géographie humaine de la ville

2.3.2. Démographie

L'Institut National des Statistiques et Recensements (INEC) a réalisé des projections démographiques par canton en fonction de l'âge et du sexe (Figure 17). Selon la projection faite pour l'année 2015, le canton du Liberia, qui englobe la zone d'étude, a une population totale de 59 131 habitants, dont 51 % d'hommes et 49 % de femmes. L'information de l'INEC présente quatre groupes qui composent la population de Liberia : 33 % de la population a entre 0 et 19 ans, 37 % entre 20 et 39 ans, 21 % entre 40 et 59 ans et 9 % de la population plus de 60 ans.

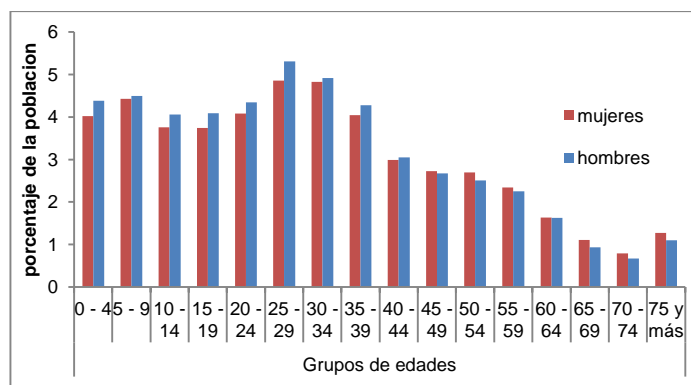


Figure 17. Répartition en pourcentage des groupes d'âge par sexe selon les projections démographiques de 2015 (INEC, 2017).

2.3.3. Éducation

Le niveau d'éducation est variable dans la Région Chorotega (INEC, 2017). La majorité des personnes (68 % des hommes et 62 % des femmes âgées de plus de 15 ans) n'ont pas de diplôme équivalent au baccalauréat national (école secondaire). Le niveau d'enseignement supérieur est légèrement plus important pour les femmes (37 %) que pour les hommes (33 %). Très peu ont une formation technique formellement diplômée. La population ayant les niveaux d'éducation les plus élevés ne représente que 19 % des femmes et 15 % des hommes (Figure 18). Cependant, selon le diagnostic de l'éducation nationale (Proyecto Estado de la Nación, 2013), le canton de Liberia est situé dans une zone considérée comme ayant un climat éducatif favorable en termes d'accessibilité à l'éducation.

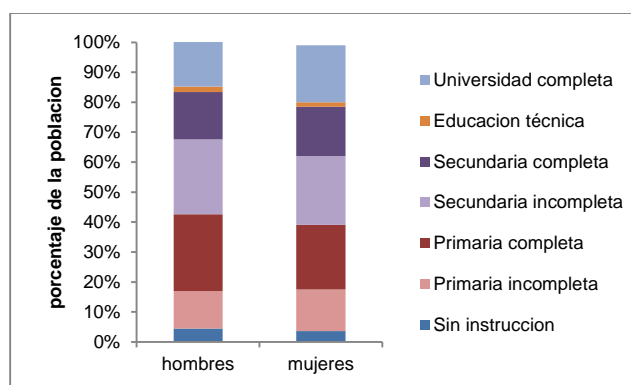


Figure 18. Niveau d'éducation par sexe de la population âgée de plus de 15 ans dans la Région Chorotega (INEC, 2017).

2.3.4. Activités économiques

Le Plan cantonal de développement humain du canton de Liberia pour la période 2011-2020 (PNUD-FOMUDE, 2009)¹ analyse les activités économiques du canton en les séparant selon la main-d'œuvre et les employeurs. Selon cette analyse, la main-d'œuvre de Liberia travaille principalement dans les secteurs de l'hôtellerie et de la restauration, de l'administration publique, de l'agriculture, du commerce et réparation de véhicules et de l'industrie manufacturière, entre

¹ PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement)

FOMUDE (Proyecto de Fortalecimiento Municipal y Descentralización)

autres. Le Tableau 2 présente la distribution totale et par sexe par type d'activité économique. Malgré le fait que les hommes sont mieux intégrés dans le marché du travail, le niveau de qualification reste faible : les ventes et les services directs ainsi que les occupations élémentaires sont les activités économiques les plus importantes.

Tableau 2. Distribution des groupes d'activité économique (INEC, 2011).

Groupe d'activité économique	Hommes	Femmes	Totale	Pourcentage
Ventes et services directs	3 310	2 732	6 042	26,76
Occupations élémentaires	2 670	1 904	4 574	20,26
Professionnel et scientifique	1 312	1 796	3 180	13,77
Production artisanale - autres métiers qualifiées	2 390	272	2 662	11,79
Technique et professionnel moyen	1 463	663	2 126	9,42
Support à l'administration	673	1 017	1 690	7,48
Opération de machinerie et d'assemblage	1 592	65	1 657	7,34
Cadres des secteurs public et privé	171	109	280	1,24
Agricole et pêche qualifiée	410	30	440	1,95
Total	13 991	8 588	22 579	100,00

2.3.5. Vulnérabilité socio-économique

La vulnérabilité socio-économique des foyers est mesurée au Costa Rica par l'identification de besoins basiques insatisfaits à quatre critères principaux qui conditionnent la qualité de vie (INEC, 2015) :

- accès à un logement décent : qualité du logement, rapport le nombre d'occupant du logement et le nombre de pièces et accès à l'éclairage électrique ;
- accès à un mode de vie sain : approvisionnement en eau de bonne qualité pour répondre aux besoins alimentaires et hygiéniques et évacuation des eaux vannes et excréments;
- accès au savoir : fréquentation scolaire et retard scolaire pour la population âgée de 7 à 17 ans ;
- accès à d'autres biens et services : capacité de consommation qui reflète la disponibilité potentielle des ressources des ménages.

Selon le recensement de 2011 (Tableau 3), le district de Liberia dont la majorité de la population se trouve dans la ville présente un taux élevé de foyers (25,30 %) avec au moins un besoin basique insatisfait.

Tableau 3. Distribution des besoins basiques insatisfaits au sein des foyers (INEC, 2011).

District de Liberia	Total	Pourcentage
Nombre total de foyers	14452	100
Foyers avec un ou plusieurs besoins basiques insatisfaits	3556	25,30
Foyers avec un besoin basique insatisfait	2632	18,21
Foyers avec deux besoins basiques insatisfaits	762	5,27
Foyers avec trois besoins basiques insatisfaits	220	1,52
Foyers avec quatre besoins basiques insatisfaits	46	0,31

Bilan : *Carte de visite du bassin versant et de la ville de Liberia*

1. Bassin versant du Río Liberia :

- Situation : Pacifique Nord du Costa Rica
- Surface totale (jusqu'à la confluence avec le Tempisque): 212 km²
 - Naturel ou semi-naturel : 37,66 km², 17,8 %
Forêt tropicale humide transition basale
 - Agricole : 163,76 km², 77,2 %
Agriculture peu à moyennement intensive et élevage bovin
 - Urbain : 4,34 km², 2,0 %
Ville de Liberia, capitale de Guanacaste
- Climat : semi-aride avec forte saison sèche avec pics de température supérieurs à 35°C.
Une saison des pluies où précipitent presque la totalité de 1 600 mm annuels.
- Hydrographie et hydrogéologie :
 - Río Liberia, cours d'eau principal
 - Ruisseaux : Danta, Carreta, Piches, Panteón, Arena
 - Aquifères : Nappe profonde de Bagaces
- Régime hydrologique :
 - Río Liberia → artificialisé : alimentation par un canal → écoulement pérenne
 - Ruisseaux → intermittents voire éphémères

2. Ville de Liberia :

- Démographie croissante : 17 000 habitants en 1984, 40 000 habitants en 2000 et 53 000 habitants en 2011 (INEC, 2011).
- Une population vulnérable : un quart des foyers
- Pôle régional dynamique : Tourisme (hôtellerie, restauration), commerce, services administratifs, universités, hôpitaux...
- Forte anthropisation du cours d'eau dans sa partie urbaine :
 - Ouvrages hydrauliques : canal d'amenée d'eau, seuil pour le prélèvement de l'eau, digues de protection contre les inondations
 - Pratiques humaines : imperméabilisation du lit, busage des ruisseaux, construction sur les berges, rejets sauvages, déchets solides, extraction

de sable...

- Expansion de la zone urbaine au détriment des zones agricoles et des cours d'eau

3. L'eau dans la ville :

- Usage principale : eau potable -147 L/jour/habitant (2016)
- Assainissement : collectif : 26 % des abonnés sont connectés au système d'assainissement collectif et à la station de traitement par lagunage et la majorité du restant des abonnés utilisent des fosses septiques. Le restant des usagers rejette les eaux usées directement dans la rivière et les ruisseaux

III. Efficacité des indices de qualité de l'eau réglementaires pour rendre compte des pressions anthropiques à l'échelle globale et locale

Informe sinóptico: Eficacia de los índices de calidad de agua reglamentarios para describir las presiones antropogénicas a escala global y local

Para comprender los procesos de degradación que sufren los cuerpos de agua superficial y responder por medio de la definición de medidas de preservación y restauración de los ecosistemas acuáticos, es necesario comprender las presiones hidrológicas, naturales y antropogénicas que existen sobre estos cuerpos de agua superficial.

En este capítulo, el objetivo es determinar si en la zona de estudio las puntuaciones y las clases de calidad de aguas establecidas en el Reglamento para la Clasificación de los Cuerpos de Agua Superficial (MINAE, 2007)), reflejan efectivamente la variabilidad espacial y temporal del estado del río. Esto es, la influencia que ejercen las condiciones y presiones a nivel global y local sobre el llamado hidrosistema.

La regulación costarricense de la calidad de las aguas superficiales es reflejo de la preocupación nacional frente a la degradación progresiva que sufren los ecosistemas acuáticos. En la normativa nacional se recomiendan tres indicadores de calidad del agua que son evaluados en este estudio: un índice físico-químico (PQICR), un índice biológico adaptado en Costa Rica (BMWP'CR) y una clasificación basada en la presencia de coliformes fecales (FCC'CR).

Como lo describe la Figure 19, probamos por medio de un programa de monitoreo compuesto por siete estaciones de muestreo (Tableau 4), la efectividad de las clases y puntuaciones de estos índices de calidad del agua en una sección de cuenca de 46 km² del río Liberia, ubicada en la provincia de Guanacaste donde la ciudad de Liberia (39 001 habitantes) cubre el 17 % de la zona de estudio.

Tableau 4. Características de las estaciones de muestreo.

Código	km desde la naciente	Superficie y altitud	Características del punto
S ₁ -Sm	0,5	1,3 km ² - 690 m	Cabecera de cuenca (faldas de volcán): cobertura principalmente forestal – densa vegetación ribereña
S ₂ -Ey	13,5	11,6 km ² - 260 m	Zona de cañones escarpados: suelo rocoso principalmente expuesto – estrecho corredor vegetal
S ₃ -Lm	18,1	22,1 km ² - 180 m	Limite aguas arriba de la zona urbana: ligera zona residencial – densa vegetación ribereña en amplio corredor
S ₄ -Lc	23,3	26,8 km ² - 145 m	Zona urbana: influencia del centre historico – limitada cobertura vegetal ribereña por urbanización
S ₅ -Ec	26,3	36,0 km ² - 125 m	Influencia de la quebrada Piches: densa zona residencial - fuerte presencia de desechos sólidos y vertidos ilegales – vegetación ribereña degradada
S ₆ -Pt	26,5	39,0 km ² - 124 m	Vertido de la planta de tratamiento de aguas residuales
S ₇ -Pu	30,5	46,4 km ² - 113 m	Limite aguas abajo de la zona urbana: Zonas agrícolas y de pasturas – densa vegetación ribereña

Se realizaron 15 campañas entre 2013 y 2015. La relación entre los índices de calidad del agua y las condiciones climáticas estacionales se analizó mediante un índice H basado en una tipología de cuatro clases de condiciones de precipitación.

Las relaciones entre la calidad del agua y las presiones globales y locales fueron analizadas por medio análisis de correlación entre los índices de calidad de agua y los índices de uso del suelo detallados a tres niveles (escala global) y de los valores de calidad ribereña (escala local) determinadas por medio de la aplicación del indicador de calidad de áreas ribereñas (RQI).

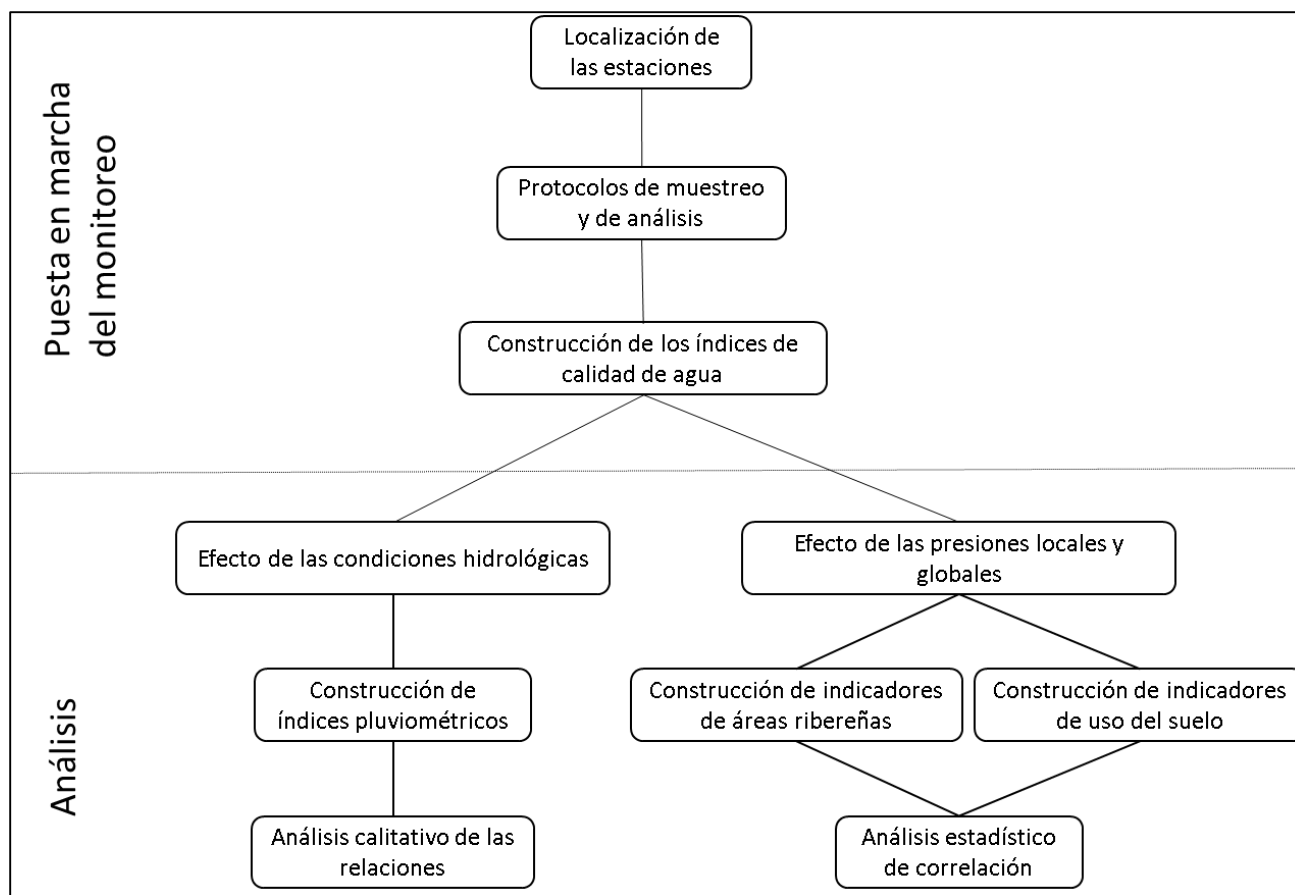


Figure 19. Método empleado para responder a la pregunta: ¿Los índices reglamentarios son eficaces para dar cuenta de la calidad del agua?

Los análisis cualitativos y estadísticos fueron adaptados dados los reducidos tamaños de muestra. De hecho, no son aún claras las relaciones entre el índice H y los índices de calidad del agua (Figure 27, Figure 28 et Figure 29). La calidad del agua era mejor en las tres estaciones principales que en las otras bajo la influencia urbana de la ciudad de Liberia.

Los indicadores de calidad de agua, el PQI'CR, BMWP'CR y FCC'CR mostraron mejor calidad del agua bajo la influencia de descriptores de uso natural del suelo (en los tres niveles) y bajo condiciones ribereñas favorables. Por el contrario, las presiones antropogénicas globales (agricultura y urbanización) tienen un efecto negativo sobre la calidad del agua (Figure 37). Los resultados obtenidos de las clases y puntuaciones de los indicadores de calidad del agua son consistentes, lo que demuestra la eficacia de estas herramientas para los gestores de los ríos. Por lo tanto, a pesar de las limitaciones encontradas, los indicadores siguen siendo eficaces para

cuantificar y caracterizar las presiones de la actividad humana sobre la calidad del agua del cuerpo de agua superficial, en particular de las presiones propias de la zona urbana de Liberia.

Resumen:

¿Los índices reglamentarios permiten dar cuenta de la calidad de agua?

Programa de monitoreo

- 15 campañas de monitoreo de calidad de agua (2013-2015)
- 7 estaciones de muestreo según las presiones

⊗ Lamentablemente no hay datos completos para todas las fechas de muestreo

Análisis temporal

- Para sortear la falta de datos de caudal, se evaluaron las condiciones hidrológicas por medio de índices pluviométricos
- Todas las condiciones hidrológicas (D_1 , D_2 , H_1 et H_2) fueron observadas durante las campañas de muestreo
- El índice pluviométrico «H» no permitió identificar claramente la influencia de las condiciones hidrológicas de la calidad de agua

Análisis espacial

☺ Los análisis de correlación con los índices de calidad de agua alcanzar a dar cuenta de las presiones globales y locales

- Principales presiones globales:
 - Presiones urbanas, PTAR
- Principales presiones locales:
 - Margen izquierda, sucesión ecológica
- El PQI es sensible a (casi) todas las presiones
- El BMWP y el FCC son más discriminantes
- La lectura combinada de los tres índices permite identificar el conjunto de presiones

3.1. Mise en contexte

L'établissement de la relation entre l'occupation du sol et l'intégrité écologique des rivières est un phénomène complexe, multifactoriel, dont leurs enjeux agissent à différentes échelles. Cela pose un défi de gestion, surtout dans le contexte d'une urbanisation croissante. Les hydroécologues reconnaissent depuis longtemps que les hydrosystèmes sont fortement influencés par leur environnement et considèrent de plus en plus la modification de l'occupation du sol comme un facteur important qui menace la biodiversité et la conservation des rivières et des ruisseaux (Paul et Meyer, 2001; Morley et Karr, 2002; Scrimgeour et Kendall, 2003; Allan, 2004; Goldstein et al., 2006; Miserendino et al., 2011).

Les programmes traditionnels de surveillance de la qualité de l'eau ont pour but de vérifier si la qualité de l'eau observée convient aux utilisations possibles de l'eau et au bon équilibre du milieu. Ils contribuent ainsi à la compréhension de l'état du milieu et de ses variations spatiales et temporelles par des observations hydro-morphologiques, physico-chimiques, biologiques et microbiologiques (Strobl et Robillard, 2008). Plusieurs métriques, indices et indicateurs ont été développés pour évaluer l'intégrité biologique des cours d'eau, même si les gestionnaires de l'eau ont encore besoin d'outils opérationnels pour évaluer l'influence de l'activité humaine sur les rivières (Allan et al., 2006).

L'un des objectifs majeurs des programmes de surveillance est d'appuyer la prise de décisions et la gestion opérationnelle de l'eau dans ou pendant des situations critiques (World Meteorological Organization, 2013), particulièrement lorsque l'activité humaine accentue les pressions sur l'état écologique des cours d'eau. Afin de fournir un tel outil de contrôle, la législation costaricienne a mis en place le "Règlement d'évaluation et de classification de la qualité des eaux de surface" (MINAE, 2007) fixant les critères et méthodes à appliquer. Le règlement n'a pas encore été mis en œuvre de façon systématique. Ainsi cette réglementation subit d'une part, un manque actuel de connaissances systématiques sur la qualité des eaux de surface du pays, et d'autre part, une lacune dans la compréhension de l'influence de l'hydrologie, de l'aménagement du territoire et des conditions rivulaires sur la qualité des eaux et sur l'intégrité écologique du río. Le manque de connaissance de son état et de ses pressions entrave les manœuvres durables et pertinentes de la part des gestionnaires.

Le ministère de l'environnement et de l'énergie (MINAE), qui est en charge d'effectuer le suivi de la qualité des cours d'eau a défini un plan d'observation : le « Plan Nacional de Monitoreo ». Celui-ci est organisé en rotations annuelles (chaque année, le réseau d'observation est installé sur un secteur particulier). Dans ce cadre, le MINAE n'a pas encore effectué de campagne au Guanacaste. L'AyA prélève depuis 1997 des échantillons sur plusieurs stations le long du Liberia afin de déterminer la présence de coliformes fécaux. Les résultats montrent des valeurs moyennes pour la période 1997-2012, de coliformes qui varie spatialement entre 1 020 et 88 421 ufc/100 mL selon les stations de prélèvement (Mora Alvarado and Portuguez, 2012). Il s'agit donc dans ce chapitre d'évaluer l'efficacité des indices de qualité de l'eau réglementaires pour rendre compte de la qualité de l'eau observée dans des campagnes de suivi effectué entre 2013 et 2015, et des pressions anthropiques à différentes échelles.

Dans un contexte où les données hydrologiques et liées à la qualité de l'eau sont inexistantes, les indices de la qualité de l'eau sont évalués à l'aide d'indices des conditions environnementales selon une approche à plusieurs échelles spatiales et temporelles.

Le règlement définit trois indicateurs de qualité de l'eau principaux : un indice basique Prati physico-chimique (Abbasi and Abbasi, 2012; Prati et al., 1971) (PQI-CR) classe la pollution dérivée des substances qu'effectuent de la demande d'oxygène et pondère le pourcentage d'oxygène dissous (DO), la demande biologique d'oxygène (DBO₅), et la concentration d'azote sous la forme d'ammonium (NH₄-N). La réglementation définit le Biological Monitoring Working Party adapté pour le Costa Rica (BMWP'CR) par Springer et al. (2010). Hawkes (1998) a présenté un indice biologique d'eaux douces dont la base est un système de scores en fonction de la présence de familles de macroinvertébrés –le BMWP- qui fut par la suite adapté pour le Costa Rica. Un indice bactériologique (FCC'CR) a été défini pour faire évaluer les usages potentiels de l'eau et les besoins et techniques d'assainissement ; il est basé sur la présence des coliformes fécaux.

3.1.1 Méthode

La démarche effectuée est constituée de deux étapes (Figure 20) : (1) mise en place du suivi, où sont définis la localisation des stations, les protocoles de collecte et d'analyse et la construction proprement dite des indicateurs en question ; (2) analyse de l'effet des conditions hydrologiques et des pressions globales et locales.

Nous évaluons si ce groupe d'indicateurs de qualité d'eau est approprié pour évaluer les pressions locales, globales et hydrologiques dans le temps et dans l'espace. A cet effet, le laboratoire Hidrocec de l'université national du Costa Rica a mis en place un programme de suivi du río Liberia entre le mois de mars 2013 et juillet 2015. Il n'y a pas pu avoir plus d'effort analytique pendant toute la durée de la thèse. Nous présentons les résultats de la qualité de l'eau et nous évaluons les impacts de la variabilité climatique ainsi que des pressions locales et globales sur la qualité de l'eau.

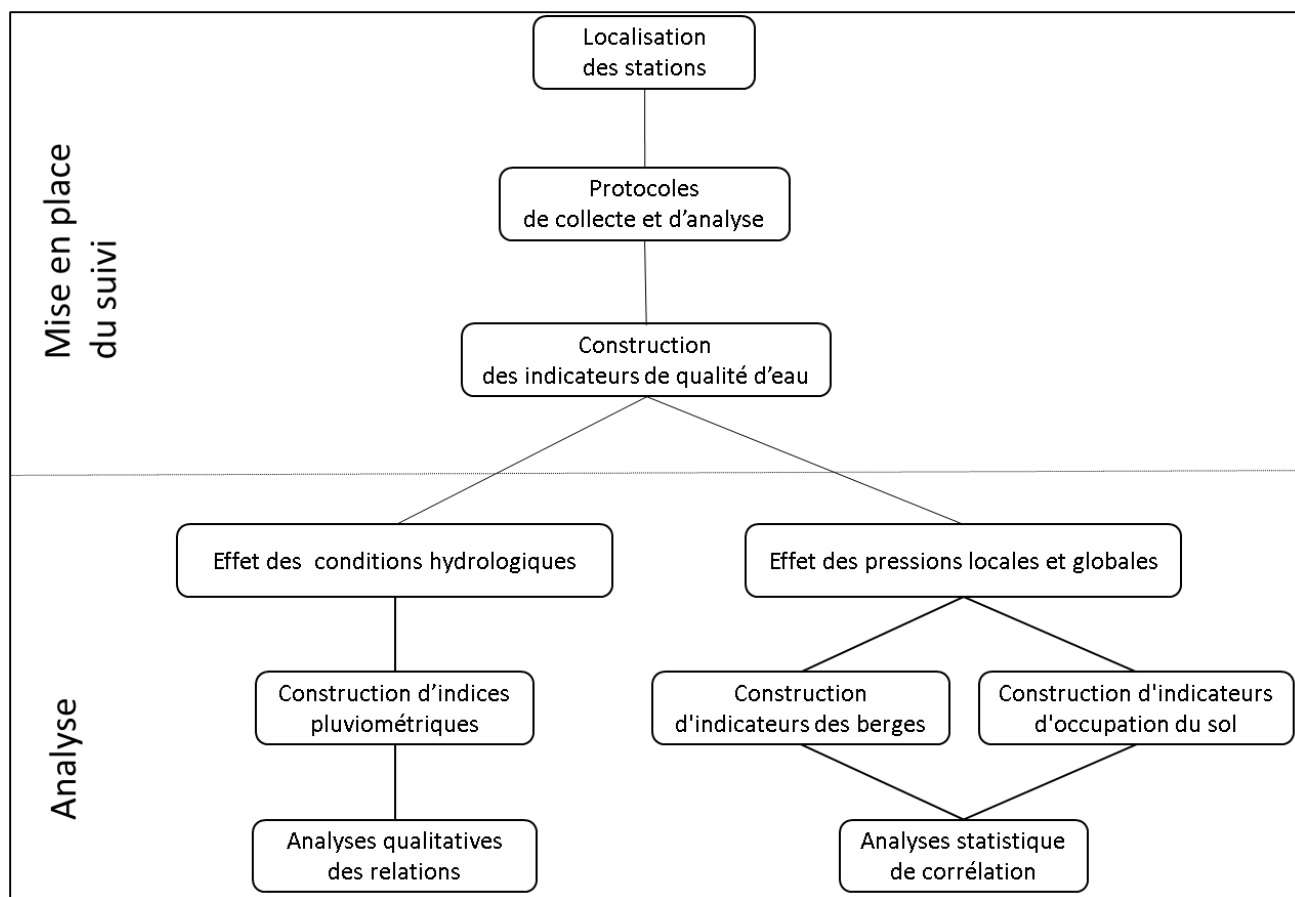


Figure 20. Méthode suivie pour répondre à la question : Les indices réglementaires sont-ils efficaces pour rendre compte de la qualité de l'eau ?

3.2.Mise en œuvre d'un protocole de surveillance en adéquation avec la réglementation Indices réglementaires de qualité des eaux

3.2.1. Indices réglementaires

La législation costaricienne fonde les programmes de surveillance de la qualité de l'eau sur trois indices : PQI'CR, BMWP'CR et FCC'CR (MINAE, 2007). L'indice physico-chimique établi dans la norme costaricienne est un indicateur qui classe la pollution due aux substances qui demandent de l'oxygène lors de leur dégradation. Les concentrations de ces paramètres augmentent normalement en raison de la pollution organique provenant de sources domestiques, agricoles et industrielles (House, 1990). Une pollution organique grave peut entraîner une désoxygénation rapide de l'eau des rivières, une forte concentration d'ammoniac et la disparition des poissons et des invertébrés aquatiques (Jacobsen, 2008).

Le PQICR est basé sur trois paramètres physico-chimiques : DO (%), DBO₅ et NH₄-N. L'oxygène dissous, DO (%), a été mesuré *in situ*. Les échantillons d'eau ont été prélevés aux stations de surveillance et transférés au laboratoire pour analyse immédiate conformément aux procédures standard décrites par APHA-AWWA² (2012) pour la DBO₅ et le NH₄-N. Ensuite, les trois paramètres (DO, DBO₅ et NH₄-N) sont notés de 1 à 5 points (Tableau 5). Le score du PQICR est égal à la somme des scores des paramètres. Ce score est ensuite traduit en cinq classes de qualité de l'eau.

Tableau 5. Attribution des notes pour les paramètres PQICR

Points	%DO	DBO ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)
1	91-100	≤ 3	<0.50
2	71-90 or 111-120	≤ 6	≤ 1.0
3	51-70 or 121-130	≤ 9	≤ 2.0
4	31-50	≤ 15	≤ 5
5	≤30 or >130	>15	>5

Les invertébrés benthiques sont largement utilisés dans les programmes de surveillance en eau douce. La diversité des espèces présentes dans tous les types d'habitats d'eau douce, et la connaissance accrue de la réaction des espèces aux conditions environnementales, rendent le zoobenthos utile pour surveiller l'eutrophisation, l'acidification, les changements dans la structure des habitats, la diversité des espèces et la pollution en général (Docile et al., 2016). Relativement faciles à échantillonner, ces organismes en général sédentaires et ayant une durée de vie plutôt longue, peuvent refléter des changements des conditions environnementales du milieu aquatique (Springer et al., 2010).

Le BMWP'CR est basé sur la notation de l'absence ou la présence de quatre-vingt-dix-neuf familles de macroinvertébrés benthiques visées par la réglementation costaricienne (MINAE, 2007). Les macroinvertébrés sont échantillonnés aux stations de surveillance en utilisant l'approche de l'habitat unique décrite par Barbour et al. (1999). Les individus sont triés et comptabilisés par famille. Chaque famille de macroinvertébrés est notée de 1 à 10 selon leur résistance à la pollution ou leur sensibilité (MINAE, 2007). Le score BMWP'CR est égal à la

² APHA-AWWA (American Public Health Association – American Water Works Association)

somme des notes de chacune des familles présentes. Ce score est ensuite traduit en six classes de qualité de l'eau.

Les coliformes sont des espèces bactériennes témoins de contamination fécale, car ils se développent en grand nombre dans les intestins des humains et d'autres animaux à sang chaud ; ils sont notamment indicateurs de pollution humaine car ils sont présents en grand nombre dans les eaux usées municipales. De plus, les échantillons d'eau de surface peuvent contenir un nombre modéré de coliformes en raison de la présence d'animaux dans le bassin versant ou du ruissellement sur le sol. Les coliformes les plus suivis sont *Escherichia coli* (E. coli) et *Aerobacter aerogenes* (A. aerogenes). Leur présence en grand nombre dans un échantillon brut indique une contamination humaine. Leur présence est détectée par la croissance de colonies visibles sur des plaques d'un milieu de culture approprié (Reynolds and Richards, 1996). Selon la réglementation costaricienne, les coliformes fécaux constituent des paramètres complémentaires pour déterminer la qualité des eaux de surface par un système de classification établi comme indiqué au Tableau 6.

Le score FCC'CR est strictement basé sur la détermination du nombre d'unités formant des colonies bactériennes sur des échantillons d'eau. Afin de déterminer et de quantifier les coliformes fécaux, nous avons utilisé la procédure des tubes de fermentation multiples appuyée par l'APHA-AWWA (2012). Cette méthode est basée sur la capacité des coliformes fécaux à fermenter le lactose lorsqu'ils sont incubés à $44,5 \pm 1^\circ\text{C}$ sur des périodes de 24 à 48 heures. Cette incubation produit de l'acidité et des gaz qui peuvent être observés dans les cloches de fermentation ainsi que la présence de turbidité dans le milieu de culture. Par la suite, une fois atteinte la période d'incubation, les tubes positifs sont lus afin d'estimer la densité bactérienne en utilisant la technique du nombre le plus probable (ufc/100 mL).

Tableau 6. Système de classification de la qualité de l'eau des indices physico-chimiques, biologiques et bactériens figurant dans la réglementation nationale (MINAE, 2007).

IQE	Score	Classe	Classification de la qualité de l'eau
PQI'CR			
	3	1	Sans pollution
	4-6	2	Pollution naissante
	7-9	3	Pollution modérée
	10-12	4	Pollution sévère
	13-15	5	Pollution très sévère
BMWP'CR			
	>120	1	Excellente
	101-120	2	Bonne, non polluée
	61-100	3	Moyenne, eutrophique, pollution modérée
	36-60	4	Mauvaise, polluée
	16-35	5	Mauvaise, très polluée
	<15	6	Très mauvaise, extrêmement polluée
FCC'CR			
	< 20	1	Traitement simple de désinfection
	20-1000	2	Traitement conventionnel
	1000-2000	3	Traitement avancé
	2000-5000	4	Non utilisable
	>5000	5	Non utilisable

Classification de la qualité de l'eau de la présence de coliformes fécaux en fonction du traitement requis.

3.2.2. Stations de mesures et dates de prélèvement

Sept stations de surveillance ont été localisées depuis 2013 sur le cours principal du Liberia de la source à l'aval immédiat de la ville de Libéria (Figure 21). Six stations ciblent les principaux paramètres de suivi de la qualité de l'eau du Liberia : trois stations en amont (S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm) sont situées en fonction des conditions naturelles et trois stations (S₄-Lc, S₅-Ec et S₇-Pu) pour évaluer les pressions urbaines en fonction de la couverture terrestre et des conditions rivulaires (Tableau 7). La dernière station (S₆-Pt) contrôle l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de la ville. L'étude a porté sur 4 637 ha et un réseau de 66 km de cours d'eau.

Tableau 7. Caractéristiques des stations de surveillance.

Code station	km depuis la source	Surface et altitude	Caractéristique des lieux
S ₁ -Sm	0,5	1,3 km ² - 690 m	Bassin de tête (contrefort du volcan) : principalement couvert forestier - végétation rivulaire dense
S ₂ -Ey	13,5	11,6 km ² - 260 m	Zone de canyon abrupt : sol rocheux principalement exposé - couloir végétalisé étroit
S ₃ -Lm	18,1	22,1 km ² - 180 m	Limite amont de la zone urbaine : zone résidentielle légère - végétation rivulaire dense dans un grand corridor
S ₄ -Lc	23,3	26,8 km ² - 145 m	Zone urbaine : influence du centre-ville historique - couverture végétale rivulaire limitée par l'urbanisation
S ₅ -Ec	26,3	36,0 km ² - 125 m	Influence de l'affluent du Piches : zone résidentielle dense - forte présence de déchets solides et d'effluents illégaux - végétation rivulaire dégradée.
S ₆ -Pt	26,5	39,0 km ² - 124 m	Rejets de l'usine de traitement des eaux usées
S ₇ -Pu	30,5	46,4 km ² - 113 m	Limite aval de la zone urbaine : Zones agricoles et de pâturage - végétation rivulaire dense

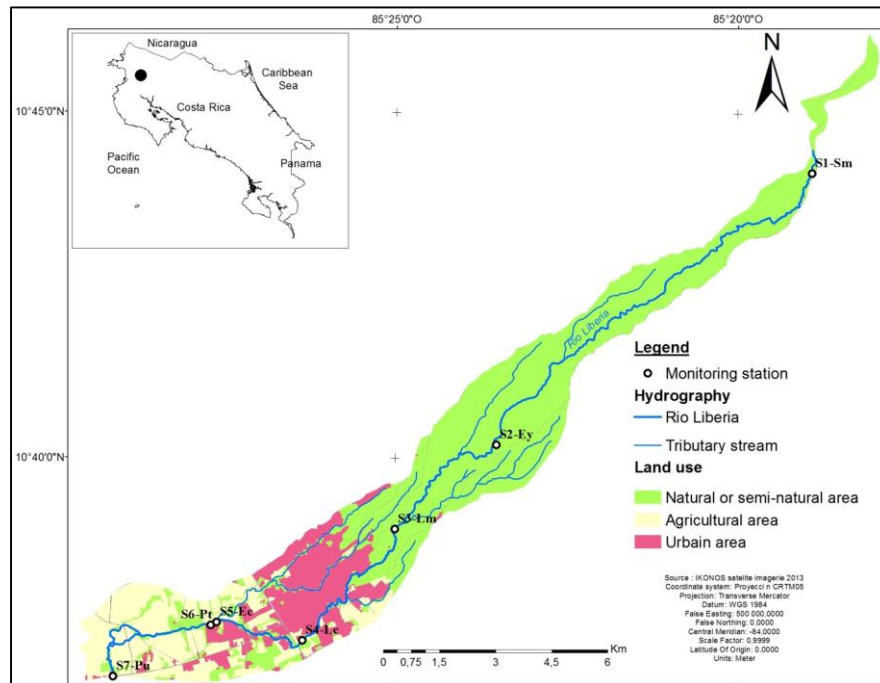


Figure 21. Localisation des stations de surveillance sur le río Liberia.

En ce qui concerne les dates de prélèvement, le MINAE (2007) conseille de distinguer les conditions climatiques saisonnières pour obtenir de bons programmes de surveillance. Il est en effet important de caractériser l'état de la rivière lors de la saison des pluies et de l'étiage. Mais cela constitue un vrai challenge et n'a pas pu être complètement respecté ici.

Entre mars 2013 et juillet 2015, 15 campagnes ont été réalisées. Il est important de noter que tous les indicateurs n'ont pas pu être mesurés lors de chaque campagne, du fait de contraintes logistiques diverses : budget insuffisant, contraintes techniques et défauts analytiques, risques majeurs d'accidents et d'infections lors de crues violentes.

Le Tableau 8 détaille les dates pour lesquelles les indicateurs évalués, PQI'CR, BMWP'CR et FCC'CR ont pu être construits grâce la disponibilité de l'intégralité des données requises.

Tableau 8. Dates de prélèvement pour la construction des indicateurs évalués PQI'CR, BMWP'CR et FCC'CR.

	01/03/2013	13/06/2013	29/07/2013	10/10/2013	21/11/2013	04/02/2014	01/04/2014	08/04/2014	02/06/2014	15/07/2014	27/07/2014	17/09/2014	07/03/2015	28/05/2015	21/07/2015	Effectif total
PQI'CR	x	x		x	x	x					x			x		7
BMWP'CR	x		x					x	x	x		x	x		x	8
FCC'CR		x			x	x	x				x		x	x		7
Date de prélèvement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Le contexte climatique des campagnes réalisées présente un régime tropical fortement influencé par le phénomène ENOS. Selon les bulletins de l'ENOS n°72-83 (IMN, 2014-2015), la phase chaude et sèche du phénomène a été particulièrement marquée de sorte que le déficit des pluies de 2014 et 2015 est le plus important depuis 1937.

La Figure 22 présente les pluies journalières durant la période d'étude selon les données de la station Liberia (NOAA³, 2015). La pluie annuelle pour 2013 est de 1 738 mm en 99 jours de pluie. 2013 se situe dans la moyenne des pluies observées. En effet, selon Villalobos Flores et al. (2013), la pluviométrie annuelle moyenne calculée entre 1973 et 2001 à Liberia est de 1 600 mm. Les années 2014 et 2015 ont été particulièrement sèches avec respectivement 1 223 mm en 75 jours de pluie et 650 mm en 52 jours de pluie.

³ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis))

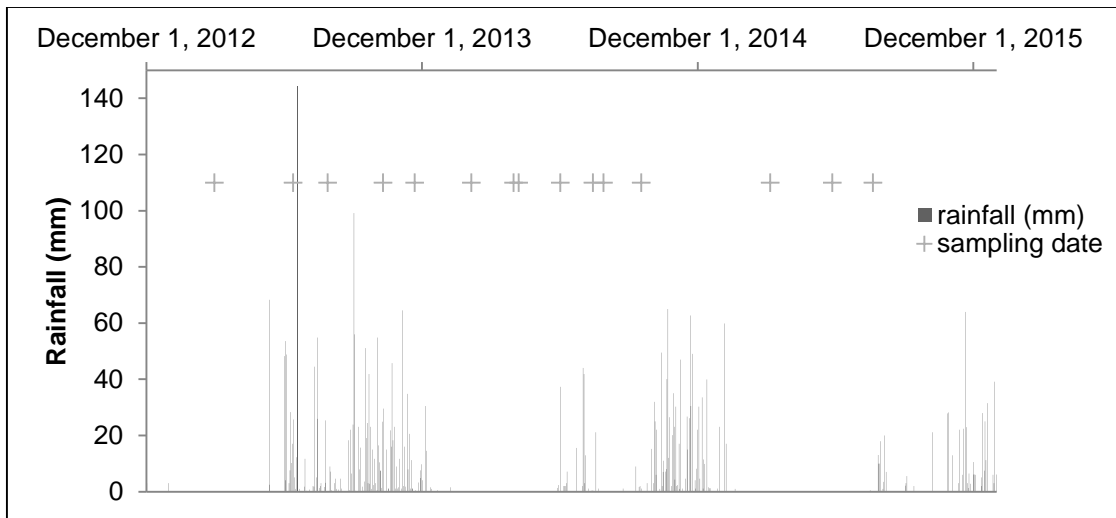


Figure 22. Dates d'échantillonnage de l'eau et précipitations quotidiennes du 1er décembre 2012 au 31 décembre 2016 (NOAA, 2015).

Bilan : *Protocoles de mesure, d'analyse et construction d'indices*

1. PQI'CR :

- Trois paramètres : %DO, DBO₅ & NH₄-N
 - Mesures *in-situ* du DO (%)
 - DBO₅ & NH₄-N : suivant procédures standard (APHA-AWWA, 2012)
- Chaque paramètre est noté de 1 (excellent) à 5 (très mauvais)
- Le score est égal à la somme des trois notes

2. BMWP'CR :

- Échantillonnage et identification de 99 familles de macro-invertébrés benthiques (Barbour et al., 1999)
- Chaque famille est notée de 0 à 10, en fonction de sa sensibilité ou sa résistance à la pollution
- 0 = absence, 1 = famille très résistante, 10 = famille très sensible
- Le score égal à la somme des 99 notes

3. FCC'CR :

- Un paramètre : coliformes fécaux, cultivés + dénombrement de colonies (APHA-AWWA, 2012)
- Notation en unités formant colonies
- Les classes sont définies en fonction du traitement et des usages de l'eau

4. Choix des stations de mesure

- En fonction des pressions, accessibilité, contraintes logistiques, coût économique
- 7 stations de mesures permettant le contrôle de la partie amont du bassin versant (44 km²)

5. Campagnes de mesures

- **Mars 2013 à juillet 2015**
- incomplètes à cause de contraintes techniques : risques d'accidents/infections, crues violentes, problèmes analytiques,
- PQI'CR : 7 observations, BMWP'CR : 8 observations, FCC'CR : 7 observations

3.3. Etat de la rivière

3.3.1. Indice physico-chimique : PQI'CR

Les paramètres de l'indice PQI'CR présentent des différences en termes de variation spatiale et temporelle (Figure 23). Le PQI'CR (Figure 24) présente une tendance spatiale à s'accroître vers l'aval à travers les stations. Une fois passée S₄-Lc, la variabilité entre les résultats des dates d'échantillonnage est plus importante que dans les stations amont. Les statistiques de l'indice montrent une forte dégradation, en particulier à S₆-Pt, où son maximum atteint des conditions très gravement polluées et où sa valeur médiane s'est traduite en conditions fortement polluées. La station S₇-Pu, présente la variabilité la plus importante. En effet, la qualité peut varier de la valeur minimale possible de l'indice (conditions d'eau non polluée) à la valeur de 12, (pollution sévère).

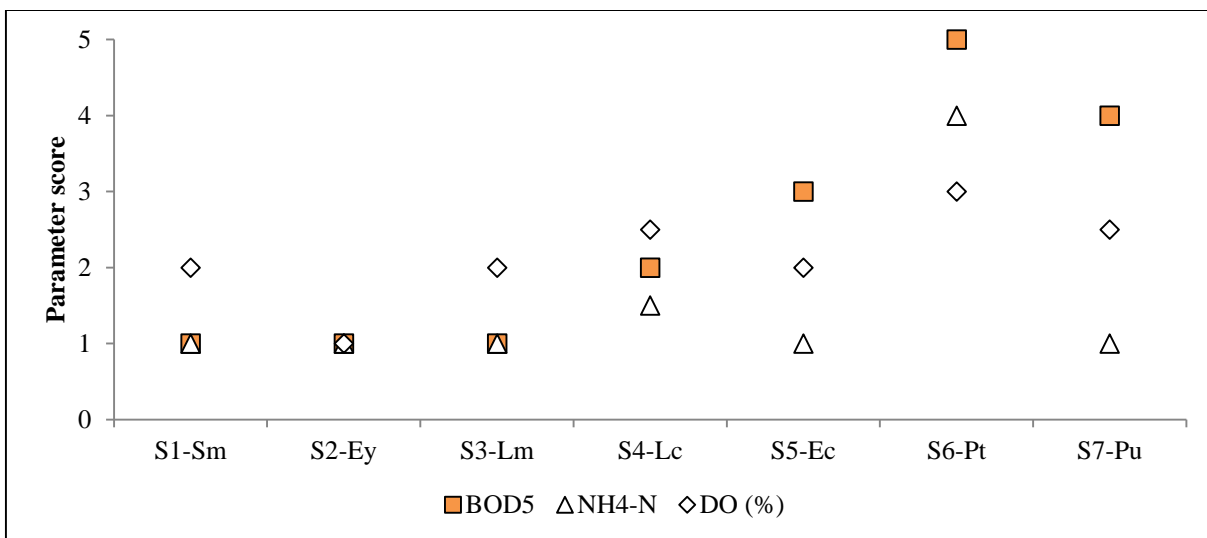


Figure 23. Statistiques des scores médians de PQI'CR de chaque paramètre à chaque station.

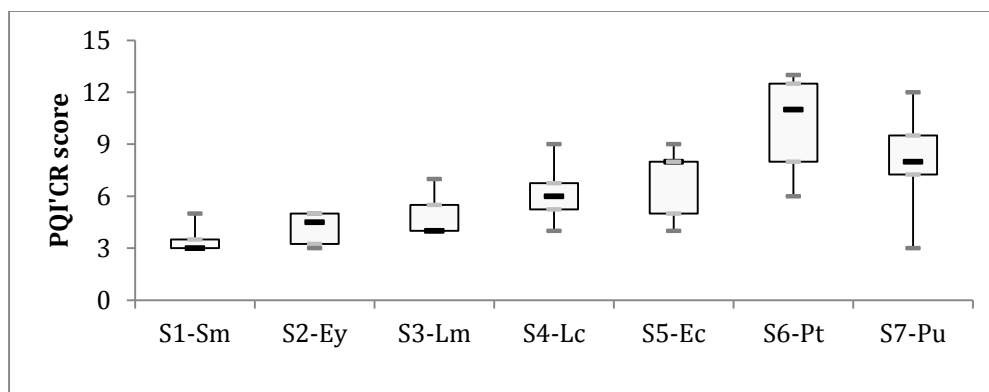


Figure 24. Variabilité de l'indice physico-chimique PQI'CR à chaque station de mesure.

3.3.2. Indice biologique : BMWP'CR

Pour l'ensemble des campagnes d'échantillonnage, la diversité de macroinvertébrés benthiques diminue vers l'aval, passant de 31 familles observées à S₁-Sm à 6 et 8 familles respectivement à S₅-Ec et S₇-Pu (Figure 25). Cette réduction se caractérise par des familles prépondérantes qui rassemblent la plus forte occurrence au-delà du 65 % de l'occurrence observé. A S₅-Ec, une seule famille Thiaridae -famille résistante à la pollution- rassemble plus de 83 % de l'effectif total des individus observés.

Les familles benthiques les plus abondantes collectées à S₁-Sm sont les Elmidae et les Hydropsychidae - deux familles sensibles à la pollution modérée (5 points) - et les Leptophlebiidae, une famille très sensible (8 points). A S₂-Ey, les familles les plus abondantes parmi 19 familles collectées sont : les Leptohyphidae (5 points), Hydrophyidae, Perlidae (9 points) et Pyralidae (5 points). Onze familles ont été trouvées à S₃-Lm avec Leptohyphidae, Chironomidae (2 points) et Libellulidae (6 points) les plus fréquentes. A S₄-Lc, 18 familles ont été identifiées parmi lesquelles les Chironomidae, Hydropsychidae et Caenidae (4 points) sont les plus fréquentes. Six familles ont été collectées à S₅-Ec dont Thiaridae est la plus abondante. Finalement, à S₇-Pu, un total de huit familles ont été collectées dont les Chironomidae et Thiaridae sont les plus abondantes.

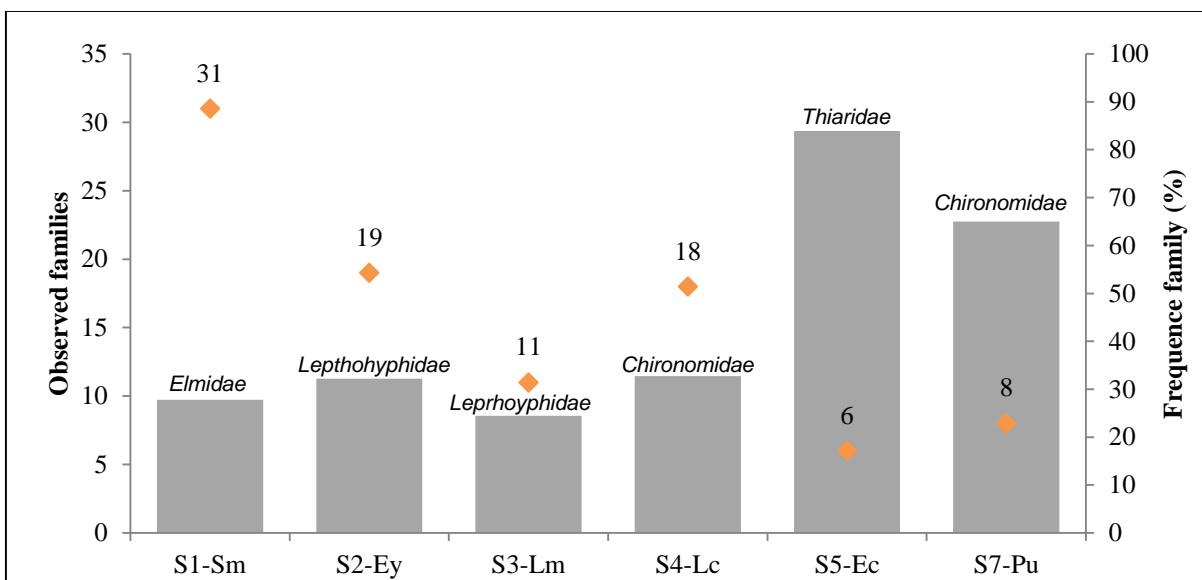


Figure 25. Nombre de familles observées aux stations d'échantillonnage ◆ et % de présence des individus de la famille prépondérante para rappor a l'effectif total.

La qualité biologique de l'eau selon le BMWP'CR varie selon les observations faites aux différentes dates (Figure 26). Elle se dégrade le long des différentes stations, même si cela reste assez variable. S₁-Sm et S₄-Lc présentent la variation interquartile la plus élevée, tandis que S₂-Ey et S₅-Ec en présentent les plus stables. Après une baisse marquée de l'indice à S₂-Ey et S₃-Lm, la qualité de l'eau montre à la station de S₄-Lc une légère amélioration pour ensuite se dégrader encore aux stations suivantes. Les valeurs médianes les plus élevées de la qualité de l'eau sont présentes à la première station S₁-Sm qui montre une pollution modérée. S₂-Ey montre une mauvaise qualité d'eau. Plus à l'aval, S₃-Lm présente une très mauvaise qualité de l'eau, S₄-Lc une mauvaise qualité, et S₅-Ec ainsi que S₇-Pu présentent une très mauvaise qualité d'eau.

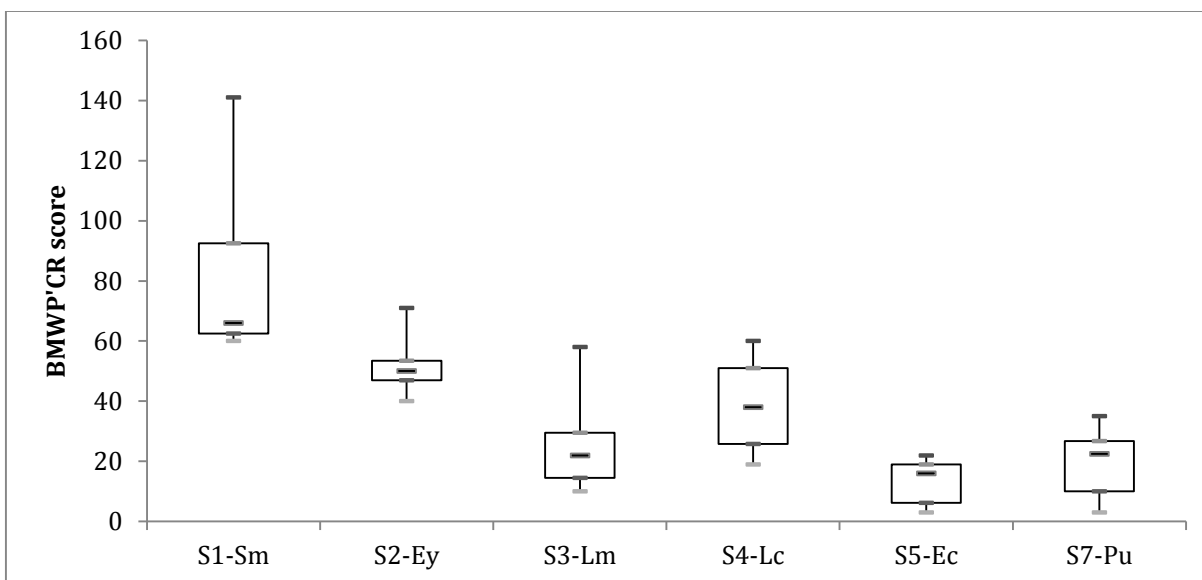


Figure 26. Variabilité de l'indice biologique BMWP'CR à chaque station de mesure.

3.3.3. Indice bactériologique : FCC'CR

Les résultats de la surveillance des coliformes fécaux sont présentés à la Figure 27. On observe deux types de stations. Le premier groupe de stations est composé de S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm, où les stations rassemblent le plus d'observations autour de la 2^{ème} classe de qualité d'eau. Les stations en zone urbaine et vers l'aval forment le second groupe où les observations augmentent de façon significative et présentent une variabilité plus faible autour de la 5^{ème} classe. Les valeurs médianes des coliformes fécaux ne sont pas très élevées pour les stations de S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm (respectivement 730, 400 et 445, ufc/100 ml), mais pour les autres stations, les valeurs médianes sont beaucoup plus élevées, soit 33 000, 36 500, 120 000 et 24 000 ufc/100 ml en allant des stations amont aux stations aval.

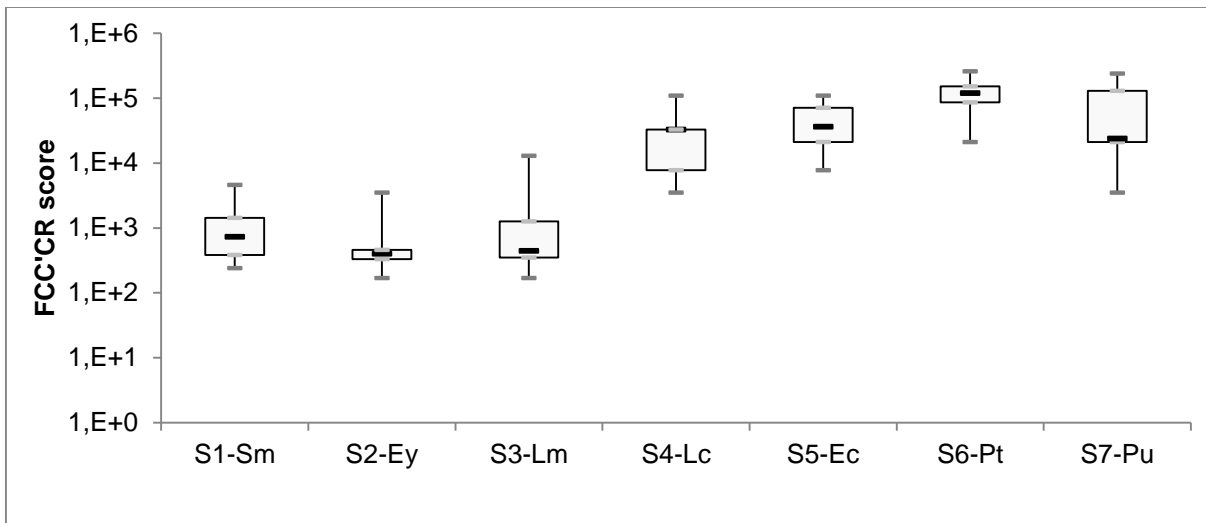


Figure 27. Variabilité de l'indice bactériologique FCC'CR à chaque station de mesure.

3.4. Peut-on expliquer la variabilité temporelle ?

3.4.1. Quel indice hydrologique choisir ?

Le MINAE (2007) conseille de distinguer les conditions climatiques saisonnières pour obtenir de bons programmes de surveillance. Or à l'échelle locale, cela n'apporte pas plus d'information hydrologique et ne permet pas de caractériser l'influence hydrologique sur la qualité de l'eau. En absence de données sur le débit des cours d'eau, l'indice de précipitations antérieures défini par Kohler et Linsley (1951) peut être utilisé pour caractériser les conditions hydrologiques dans divers états : les événements de ruissellement pluviométrique (à court terme : 1 jour), les périodes de récession (sur une base hebdomadaire) et l'influence intra/inter-saisonnière lorsque calculée sur de longues périodes (base mensuelle) (Ali et al. 2010). Les conditions climatiques sont résumées en utilisant un indice hydrologique (H) créé sur la base sur les précipitations antérieures. Pour cela, les quantités de précipitations antérieures pour des durées de 1 jour, 7 jours, 28 jours et 91 jours sont notées de 1 à 4 points selon les statistiques des précipitations observées à la station de pluie localisée à Liberia. Le Tableau 9 montre les quatre intervalles de classe et les points correspondants.

Tableau 9. Quartiles des quantités de pluie (et intervalles de classe correspondants) pour les durées de 1, 7, 28 et 91 jours à la station de pluie du Liberia (2013-2015).

Points	1 jour (mm)	7 jours (mm)	28 jours (mm)	91 jours (mm)
1	≤ 5	≤ 14	≤ 48	≤ 117
2	≤ 10	≤ 43	≤ 110	≤ 290
3	≤ 20	≤ 81	≤ 229	≤ 642
4	> 30	> 81	> 229	> 642

L'indice-H est égal à la somme des points des précipitations antérieures. Il est noté entre 4 et 16 et est traduit en classes climatiques de D₁ très sec à H₂ très humide (Tableau 10).

Tableau 10. Intervalles des classes correspondantes de l'indice hydrologique indice-H.

Score indice-H	Classes indice-H
4	D ₁ : très sec
5	D ₂ : sec
≤ 11	H ₁ : humide
>11	H ₂ : très humide

Le Tableau 11 montre l'indice H pour les 15 dates d'échantillonnage de 2013 à 2015 : six d'entre elles présentent des conditions D₁, quatre sont H₂, trois conditions D₂ actuelles et deux sont H₁.

Tableau 11. Calendrier d'échantillonnage de la qualité de l'eau et leurs indices H correspondants.

Précipitation antérieure (mm)	Jours	01/03/2013	13/06/2013	29/07/2013	10/10/2013	21/11/2013	04/02/2014	01/04/2014	08/04/2014	02/06/2014	15/07/2014	29/07/2014	17/09/2014	07/03/2015	28/05/2015	21/07/2015
		0	0	0	9	0	0	0	0	45	0	0	27	0	0	0
	7	0	158	10	113	47	0	0	0	91	0	0	159	0	0	2
	28	0	410	149	320	120	0	0	0	123	1	1	332	0	0	13
	91	0	481	692	845	810	79	0	0	163	200	202	351	1	1	96
Score indice-H		4	12	9	14	10	4	4	4	13	5	5	14	4	4	5
Classes indice-H		D ₁	H ₂	H ₁	H ₂	H ₁	D ₁	D ₁	D ₁	H ₂	D ₂	D ₂	H ₂	D ₁	D ₁	D ₂

Bilan : *Caractérisation des conditions hydrologiques et calcul des indices pluviométriques*

La compréhension hydrologique concernant la qualité de l'eau passe classiquement par l'utilisation de données de débits

Mais dans notre cas :

- Absence de stations hydrométriques pour le suivi des débits de rivières
- Il n'a pas été possible de réaliser des jaugeages par manque d'opérateurs qualifiés.

Réglementation du Costa Rica propose le suivi : "Saison **pluvieuse**" et "Périodes **d'été**"

Stratégie à développer : s'intéresser aux indices de précipitation antérieure (Kohler and Linsley, 1951 and Ali et al. 2010)

Construction d'un indice "H" à partir des précipitations antérieures

- Analyse statistique des pluies par durées
 - 1 jour → Effets des événements de pluie
 - 7 jours → Durée de récession du bassin versant
 - 28 & 91 jours → Effets inter-saisonniers
- Définition des classes par durée et par quartiles
 - par ex. pour 1 jour : 1er quartile = 4mm ; 2ème quartile = 15mm;
3ème quartile = 30 mm
- Définition de classes hydrologiques :
 - D1 = très sec ; D2 = sec ; H1 = humide ; H2 = très humide
- Caractéristiques des données
 - Source : NOAA, Station : Liberia, aéroport
 - Période : 1/01/13-31/12/15, pas de temps : journalier

		-1 jour	-7 jours	-28 jours	-91 jours	Observations
classes	N_Type	mm	mm	mm	mm	nombre
Très sec	D1	$0 < P < 4$	$0 < P < 14$	$0 < P < 48$	$0 < P < 117$	6
Sec	D2	$4 < P < 15$	$14 < P < 43$	$48 < P < 120$	$117 < P < 290$	3
Humide	H1	$15 < P < 30$	$43 < P < 81$	$120 < P < 229$	$290 < P < 642$	2
Très humide	H2	$P > 30$	$P > 81$	$P > 229$	$P > 642$	4

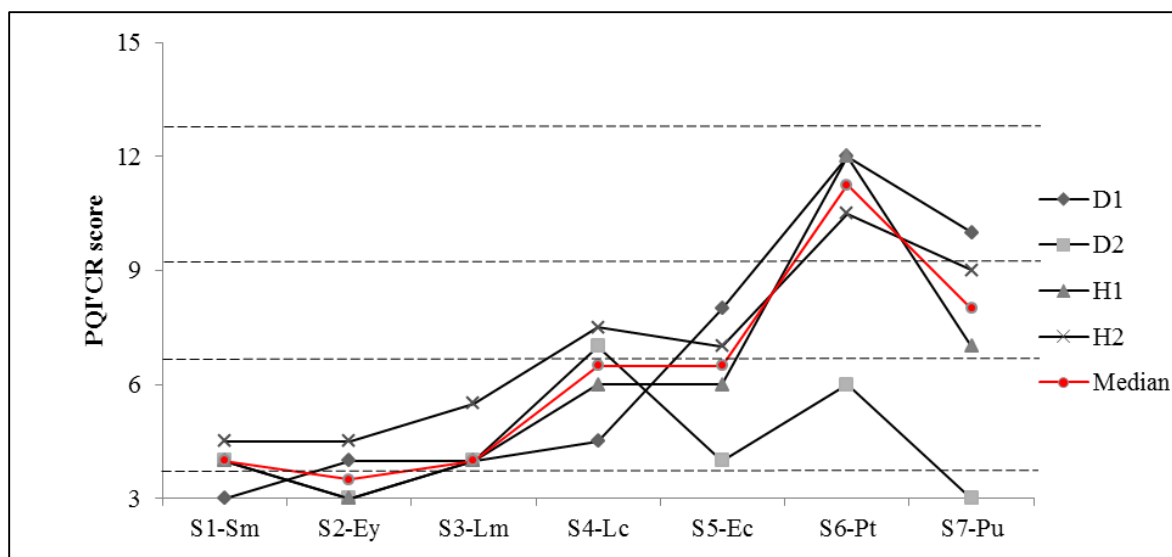
3.4.2. Relation entre les indices de qualité de l'eau et l'indice hydrologique sur le río Liberia

Pour une station donnée, l'analyse est effectuée sur les scores médians des indices de qualité de l'eau calculés par les scores de toutes les campagnes ayant le même indice H. Les scores médians des indices ont été tracés pour une analyse graphique.

3.4.2.1. Indice physico-chimique (PQI'CR)

L'indice de qualité augmente de l'amont vers l'aval, témoignant une dégradation de la qualité physico-chimique du Liberia (Figure 28). Les scores du PQI'CR aux stations amont (S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm) présentent des faibles variations en fonction des conditions hydrologiques. Les classes oscillent entre absence de pollution et pollution naissante. Là, et à S₄-Lc, les conditions H₂ présentent les scores médians du PQI'CR les plus élevés.

L'inverse se produit aux stations en aval, où la pire des qualités de l'eau est présente lors des conditions très sèches. Cette dégradation s'explique spécialement car la DBO₅ a augmenté de façon plus importante que les deux autres paramètres (Figure 23). L'indice montre une forte dégradation, en particulier au niveau de l'effluent de la station d'épuration des eaux usées (S₆-Pt), où le score maximum révèle une pollution très grave et le score médian révèle une pollution grave. Cependant, 4 km en aval de cette station, à la dernière station S₇-Pu, les scores médians diminuent (DO = 3, DBO₅ = 5 et NH₄-N = 4).



Les lignes de tiret horizontales représentent les limites des classes de l'indice.

Figure 28. Scores médians du PQI'CR selon l'indice hydrologique.

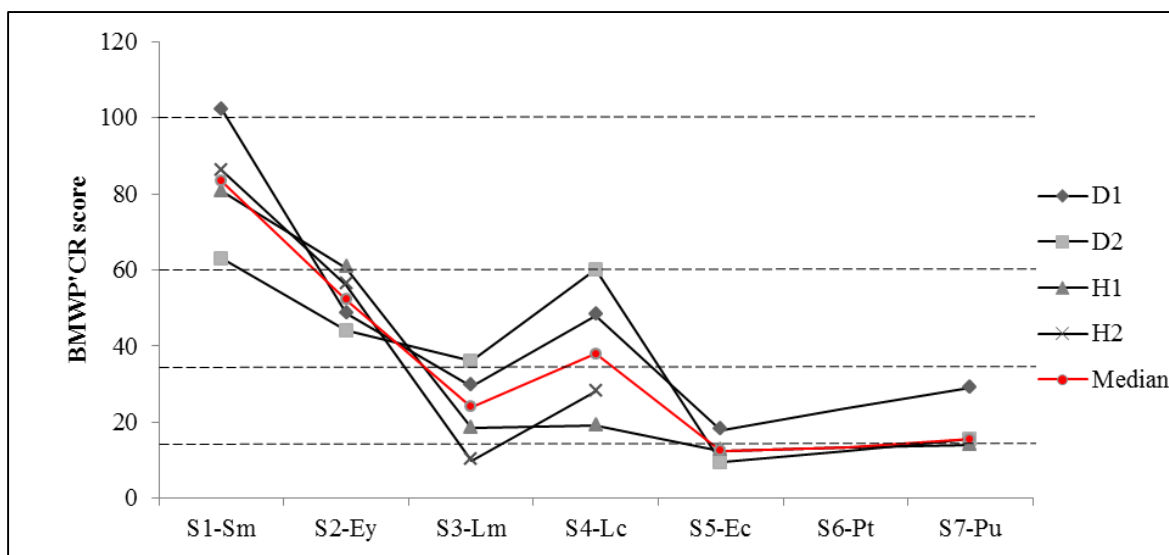
L'érosion et les ruissellements des zones naturelles à sol découverts des plateaux entre les canyons, peuvent-être source de quantités significatives de matière organique entre autres composés (Li et al., 2018). Dans ce cas, ce pourraient être affecté tout particulièrement les niveaux d'oxygène. Par contre, lorsque les ruisseaux alimentés principalement par les effluents d'eaux usées en milieu urbain deviennent actifs (D₂), on observe une amélioration de la qualité de l'eau à partir de l'effet potentiel de dilution (Kannel et al., 2007).

3.4.2.2. Indice biologique (BMWP'CR)

Les conditions climatiques peuvent avoir un effet sur la présence de macroinvertébrés, car ils peuvent être emportés par le courant lors des fortes précipitations, ou peuvent au contraire développer des stratégies d'adaptation qui les permettraient d'être résilients face aux tels évènements (Morais et al., 2004).

La Figure 29 montre le comportement du BMWP'CR en fonction de l'indicateur pluviométrique H. S₁-Sm et S₄-Lc montrent les plus grandes variations, et S₂-Ey et S₅-Ec, les plus faibles. Ainsi, la station S₁-Sm présente le score le plus élevé correspondant à une excellente qualité de l'eau lors des conditions très sèches.

Après la diminution de l'indice à S₂-Ey et S₃-Lm, la qualité de l'eau à la station S₄-Lc s'améliore par rapport aux conditions sèches et très sèches. Mais encore une fois, le BMWP'CR diminue aux stations en aval. Les scores les plus faibles observés à S₃-Lm sont lors des conditions très humides, et dans des conditions très sèches pour les stations S₅-Ec et S₇-Pu, ce qui correspond à une qualité de l'eau de la classe la plus mauvaise.



Les lignes de tiret horizontales représentent les limites des classes de l'indice.

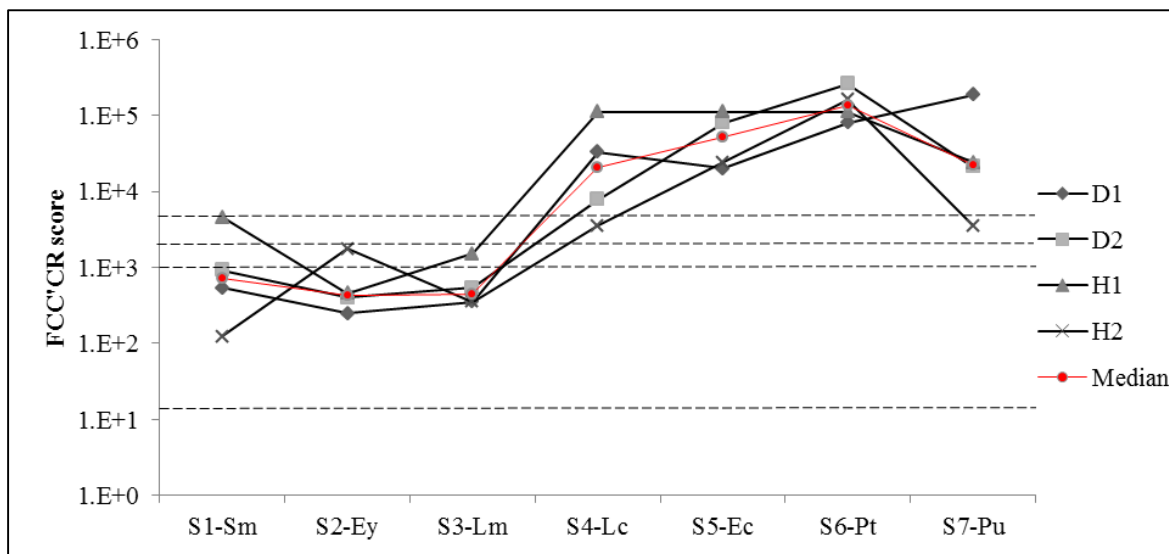
Figure 29. Scores médians du BMWP'CR selon l'indice hydrologique.

3.4.2.3. Indice bactériologique (FCC'CR)

Les analyses bactériologiques montrent qu'aucune station n'est exempte d'une abondance de coliformes fécaux. On observe cependant deux distributions spatiales nettement différentes du FCC'CR. Les stations amont S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm présentent une qualité d'eau autour de la 2^{ème} classe. Les valeurs augmentent pour les suivantes stations et présentent une faible variabilité autour de la 5^e classe.

L'abondance médiane des coliformes fécaux (Figure 30) reste au-dessous du seuil de la 2^{ème} classe de qualité de l'eau à S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm (730, 400 et 445 ufc/100 ml, respectivement), mais les médianes aux stations aval sont significativement plus élevées : 33 000, 36 500, 120 000 et 24 000 ufc/100 ml respectivement pour S₄-Lc, S₅-Ec, S₆-Pt et S₇-Pu. Les scores du FCC'CR présentent une faible variabilité et ont tendance à augmenter dans des conditions hydrologiques pluviométriques D₂ et H₂. Néanmoins les conditions très humides peuvent également entraîner

une amélioration de la qualité de l'eau, car les grandes charges provenant des effluents urbains peuvent être lavées ou diluées.



Les lignes de tiret horizontales représentent les limites des classes de l'indice.

Figure 30. Scores médians du FCC'CR selon l'indice hydrologique.

3.5. Peut-on expliquer la variabilité spatiale ?

3.5.1. Quel indicateur de pression choisir ?

Les pressions anthropiques vers les écosystèmes aquatiques sont souvent définies par les sources de pollution ponctuelles et diffuses, par les transferts vers le fleuve et par leur persistance dans le temps. Les pressions ponctuelles telles que les effluents des stations d'épuration d'eaux usées peuvent être surveillées, tandis que la pollution diffuse et les altérations physiques sont plus susceptibles d'être liées aux parcelles agricoles et urbaines (Baker 2005; Krause et al. 2008; Sliva and Dudley Williams 2001). Allan et al. (1997) et de nouveau en 2004, ont mis en évidence l'importance des différentes échelles spatiales dans ce phénomène : l'échelle macro, méso et micro.

3.5.1.1. Les pressions globales

Les principales cartographies nationales de l'occupation du sol ont été réalisées à des échelles pas tout à fait adéquates pour l'évaluation des diverses pressions issues de l'activité humaine sur la condition écologique des milieux aquatiques. Une carte de l'occupation du sol réactualisée

et avec une nomenclature adaptée est donc nécessaire. Les données de télédétection fournissent en effet une vue spatiale et exhaustive des activités humaines. Désormais, les données d'occupation du sol sont utilisées pour définir les descripteurs de pression (Lalande et al. 2014). Johnson et Host (2010) ont séparé les principales classes de l'occupation du sol qu'affectent les rivières sont les zones artificielles urbaines, artificielles agricoles et naturelles ou semi-naturelles. Cependant, cette typologie de l'occupation du sol n'est souvent pas aussi détaillée que nécessaire à des fins de gestion et à l'échelle du bassin de la zone d'étude, particulièrement dans la complexité du milieu urbain (Brill et al. 2017).

Nous avons choisi de produire une carte d'occupation du sol à trois niveaux, adaptée aux normes d'utilisation au Costa Rica. Le niveau I (quatre classes) de l'occupation du sol décrit les trois classes citées : zones naturelles et semi-naturelles, agricoles et urbaines. Le niveau II (huit classes) décrit les principales couvertures foncières des zones naturelles, agricoles et urbaines et le niveau III (vingt-et-une classe) détaille les activités humaines et les zones naturelles (Tableau 12). La typologie adapte à trois niveaux la classification de l'IGN (Chavarria Espinoza et Noches Fernandez, 2010). Les informations complémentaires pour déterminer les entités du troisième niveau ont été recueillies auprès de différentes sources nationales (ITCR, 2015) et de campagnes de terrain. Les trente-trois descripteurs des activités humaines (dites les pressions) sont ensuite calculés par le rapport (en pourcentage), au niveau de chaque station de surveillance de la qualité de l'eau, entre les surfaces de chaque classe de l'occupation du sol présente et la surface totale du bassin versant ayant pour exutoire une station une donnée (Sliva and Dudley Williams, 2001).

Tableau 12. Nomenclature hiérarchisée de l'occupation du sol.

Niveau I	Niveau II		Niveau III
Espaces naturels et semi-naturels	Couverture végétale non agricole	Forêt naturelle	
		Forêt perturbée	
		Charral/tacotal (friches)	
		Terrain rocheux	
		Sol découvert	
Espaces agricoles	Agriculture	Culture annuelle	
		Culture permanente	
		Pâturage	
Espaces urbains	Elevage	Bâti mixte ancien	
		Bâti dense	
		Bâti lâche	
	Espace bâti	Besoins basiques insatisfaits (BBI)	
		Agro-industrie	
		Activité commerciale	
		Activité industrielle	
	Zones d’activité économiques	Administration	
		Education	
		Eau et environnement	
Santé			
Places et autres espaces publics			
Infrastructure de transport	Voiries	Routes nationales	
		Routes cantonales	

Le résultat est une cartographie de l'occupation du sol du río Liberia conforme aux dates de campagnes de mesures de la qualité de l'eau et plus détaillée spatialement et sémantiquement. L'occupation du sol du bassin versant du Liberia a été ainsi cartographiée à l'aide de l'imagerie satellitaire IKONOS de l'année 2013 à résolution de 1,0 m. La carte d'occupation du sol (1 : 10 000) a été produite par photo-interprétation des caractéristiques décrites par Loelkes (1983), y compris le motif, la taille, la forme, le ton et la couleur, la texture, l'ombre et associations de sites.

Bilan : *Réalisation de cartes d'occupation du sol et construction d'indicateurs de pressions*

- Les pressions globales sur les rivières correspondent à 3 principaux types d'occupation du sol (Johnson and Host, 2010) : naturel et semi-naturel, agricole, urbain

⊗ Ces formes d'occupation du sol ne sont pas suffisamment adaptées/détaillées à l'échelle du bassin versant du rio Liberia

⊗ Une seule carte disponible date de 1992

Nécessité de produire :

- une carte récente :
 - Photo-interprétation d'images IKONOS
 - Résolution spatiale = 1 m
 - Dates des images : 2013
- une nomenclature des occupations du sol mieux adaptée à la problématique
 - Niveau grossier : 4 classes : naturel/semi-naturel, agricole, urbain, routier
 - Niveau intermédiaire : 8 classes dont 4 classes urbaines et 2 classes agricoles
 - Niveau détaillé : 21 classes dont 14 classes urbaines et 4 agricoles
- Au total 33 indicateurs de pressions globales calculés pour les 7 sous-bassins versants dont l'exutoire est défini par les stations de mesure

3.5.1.2. Les pressions locales

Selon Lovett and Price (1999), les forêts rivulaires et en galerie qui composent les bandes rivulaires peuvent être considérées comme des zones de transition entre les habitats terrestres et fluviaux. Bien qu'elles ne soient pas toujours bien définies, ces zones peuvent être décrites comme de longues bandes linéaires de végétation adjacentes à des cours d'eau, des rivières, des lacs, des réservoirs et d'autres systèmes aquatiques, y compris les plaines inondables. Ces bandes

peuvent consister en des combinaisons d'arbres, d'arbustes, d'herbes, de dicotylédones et de structures issues de la bio-ingénierie adjacentes à une rivière ou à l'intérieur d'une rivière, conçues pour atténuer l'impact de l'utilisation des terres sur la rivière.

Les forêts rivulaires sont très importantes dans la valeur écologique et paysagère des écosystèmes aquatiques. Dans le monde entier, elles sont fortement menacées et dégradées par l'artificialisation de ces sols pour l'agriculture et le pâturage, l'urbanisation, le développement des voies de communication. Au Costa Rica, ces zones protégées par la Loi Forestière sont souvent envahies et transformées affectant l'intégrité écologique des cours d'eau.

Ces structures végétales présentent différents habitats et sources de nutriments pour différentes formes de vie aquatique et terrestre. Elles remplissent de nombreuses fonctions. Ces zones tampons limitent le lessivage des sédiments et des nutriments et produits phytosanitaires provenant de l'agriculture et filtrent ainsi les polluants. De plus, elles réduisent l'érosion et le ruissellement dans les cours d'eau, stabilisent les berges, fournissent de la nourriture et des éléments nutritifs... Ceci est le résultat de leur proximité de l'eau, leur diversité de microclimats et de leur capacité à fournir abri et nourriture (Granados-Sánchez et al., 2005; Lovett and Price, 1999; Miserendino et al., 2011).

Dans ce travail, diverses analyses prennent en compte la condition écologique des écosystèmes rivulaires du bassin du Liberia et de leur relation avec les occupations de sol qui le composent, en particulier avec la végétation, l'eau et la qualité écologique de ces forêts.

Les pressions locales à l'échelle des tronçons sont étudiées par les conditions rivulaires qui sont indicatives de l'intégrité des conditions écologiques des rivières (Carvalho et al. 2011). L'état écologique des systèmes rivulaires le long de la rivière Liberia est analysé par l'indice de qualité rivulaire (RQI de l'anglais « Riparian Quality Index ») décrit par Tánago and Lastra (2011). Cet indice évalue l'anthropisation des principales fonctions écologiques et morphologiques rivulaires, et des services environnementaux. Il peut ainsi constituer un outil de surveillance et d'évaluation des zones rivulaires.

L'indice établit un système de notation pour sept attributs rivulaires qui sont classés d'un (très mauvais) à quinze (très bon). Trois parmi ses attributs évaluent chaque rive séparément : i. largeur latérale de la zone rivulaire, ii. continuité longitudinale de la végétation ligneuse rivulaire naturelle et iii. composition et structure de la végétation rivulaire. Le restant des attributs évaluent les deux berges conjointement : iv. la régénération des espèces ligneuses, v. l'état des

berges et la qualité de l'habitat, vi. les inondations et la connectivité latérale et vii. le substrat et la connectivité verticale.

Le score du RQI qui varie entre 10 et 150, résulte de la somme des scores des attributs. L'échelle de classement fournit cinq classes de qualité rivulaire : 10-39, 40-69, 70-99, 100-129 et 130-150, de très mauvais à très bon état de qualité rivulaire. Les données de terrain ont été évaluées et enregistrées à l'aide de la "fiche de données de terrain, la caractérisation et l'évaluation des conditions rivulaires" (Tánago and Lastra, 2011).

Bilan : *Construction d'indicateurs de pressions locales et campagne de terrain*

Les pressions locales à l'échelle des tronçons ont été étudiées par :

- Analyse des conditions de la ripisylve (Carvalho et al. 2011)
- Diagnostic de terrain effectué en 2013

Riparian Quality Index (RQI) (Tánago and Lastra, 2011)

- 10 attributs notés de 1-12 points...de 1 = très pauvre à 12 = excellent
 - Continuité longitudinale de la végétation (deux berges) (1 & 2)
 - Largeur de la ripisylve (deux berges) (3 & 4)
 - Composition & structure de la végétation (deux berges) (5 & 6)
 - Succession écologique des principales espèces ligneuses (7)
 - Condition du lit (8)
 - Connectivité transversale avec la plaine d'inondation (9)
 - Connectivité verticale (perméabilité, dégradation....) (10)
- $RQI = \sum (\text{Attribut1}, \dots, \text{Attribut10})$; $10 < RQI < 120$
 - 6 classes de qualité ... de très mauvais (< 40) à très bon (> 100)
 - Les RQI ont été construits au droit des 7 stations de mesure

3.5.2. Les indices de pressions globales et locales

Les indices de pression globale sont construits à partir des pourcentages cumulés de l'occupation du sol pour chaque sous-bassin défini par les stations de mesure de la qualité de l'eau du réseau de suivi du río Liberia. Les indices de pression locale sont quant à eux présentés

par le score du RQI et par chacun de ses attributs quantifiés lors de la campagne de terrain menée en 2013 sur chaque station de mesure.

3.5.2.1. Pressions globales

L'occupation du sol détaillée à trois niveaux, évolue de conditions naturelles peu artificialisées à l'amont, vers une multiplication de formes d'occupation du sol urbaine à l'aval.

La zone d'étude présente un gradient important de l'anthropisation de l'occupation du sol. Sur l'ensemble des 46,37 km², les espaces naturels et semi-naturels 63,65 % sont les plus importants en surface suivis des espaces agricoles et finalement des urbains avec 19,19 % et 16,32 % respectivement. Cependant, la couverture végétale non agricole prédomine sur les trois premiers sous-bassins conformés par les stations S₁Sm, S₂Ey et S₃Lm.

Les conditions géologiques, pédologiques et hydrométéorologiques varient de façon importante entre le 1^{er} sous-bassin (entre 650 et 850 msnm) et le 2^{ème} sous-bassin (sur les 260 msnm). A proximité du parc national Rincón de la Vieja, la forêt naturelle représente 85,82 % de la surface du 1er sous-bassin (Figure 31). Cette forêt est remplacée sur le 2^{ème} et 3^{ème} sous-bassin où les terrains entaillés par des canyons confinent la forêt en galerie sur les rives des cours d'eau. Les terrains rocheux avec une végétation très peu dense de faible hauteur composée principalement de buissons dominant alors les plateaux entre les canyons.

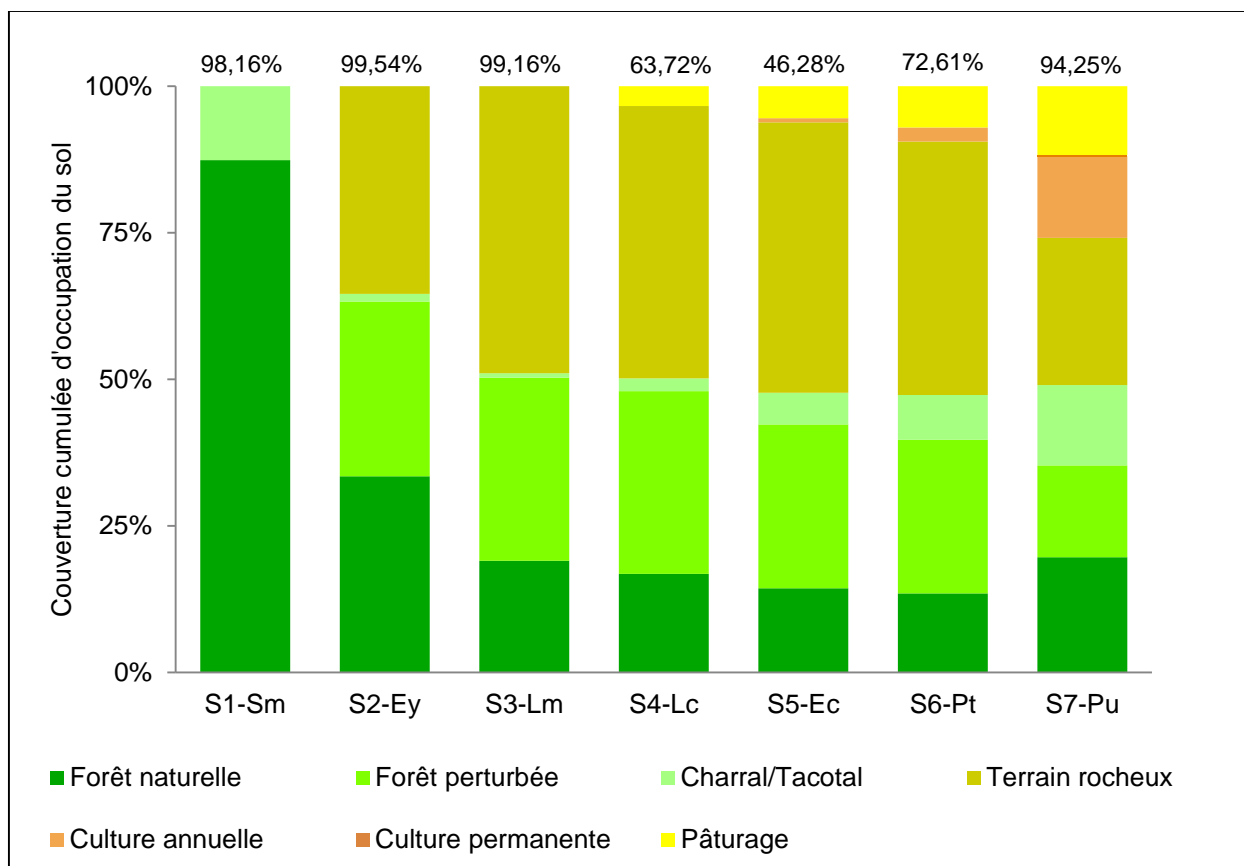


Figure 31. Couverture cumulée naturelle, semi-naturelle et de l'espace agricole au niveau 3 sur les sous-bassins de la zone d'étude.

Les terrains rocheux et les forêts sont réduits significativement à partir du 4ème sous-bassin où le bâti dense se partage l'espace avec les pâturages et les charrales (Figure 32). D'autres formes d'occupation urbaine sont importantes telles que le bâti mixte ancien et le bâti lâche, les établissements d'éducation ainsi que les voiries.

Avec des surfaces de couverture naturelle ou semi-naturelle, le 5^{ème} sous-bassin présente une forte diversification surtout des classes urbaines d'occupation du sol : des friches (charrales), des pâturages et des espaces isolés de forêt surtout au niveau de la ripisylve. Cependant, les formes les plus importantes d'occupations du sol sont le bâti dense accompagné de bâti mixte ancien, bâti lâche, logements aux besoins basiques insatisfaits. Aussi se trouvent des services de santé, d'éducation, des places et autres espaces publics, ainsi comme des zones d'activité commerciale et industrielle.

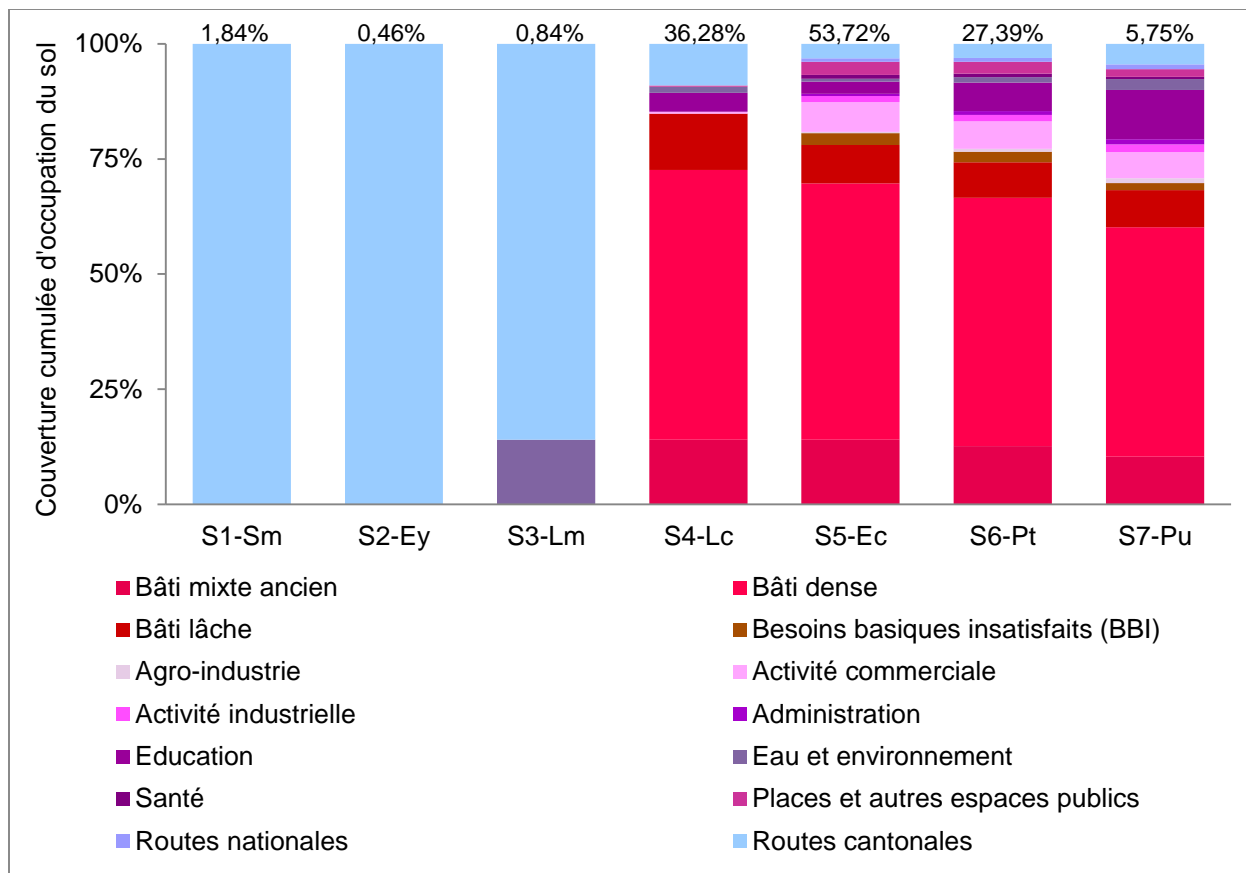


Figure 32. Couverture cumulée de la zone urbaine et de l'infrastructure de transport au niveau 3 sur les sous bassins de la zone d'étude.

Le 6^{ème} sous-bassin est principalement occupé par les friches et les pâturages, cependant, ici se trouve un pôle éducatif avec divers établissements d'éducation primaire, secondaire, technique et supérieure ce qui signifie une importante occupation du sol urbaine sur ce sous-bassin. On trouve également ici la station d'assainissement d'eau usées, l'agro-industrie (de riz et industrie bovine), des bâtiments administratifs entre autres.

Sur le 7^{ème} sous-bassin la culture annuelle atteint la valeur de 57,62 % de sa surface tandis que tout le restant des classes d'occupation du sol diminue (friches, pâturages, bâti dense, éducation) ou restent constantes sauf quelques activités commerciales et les infrastructures de transport.

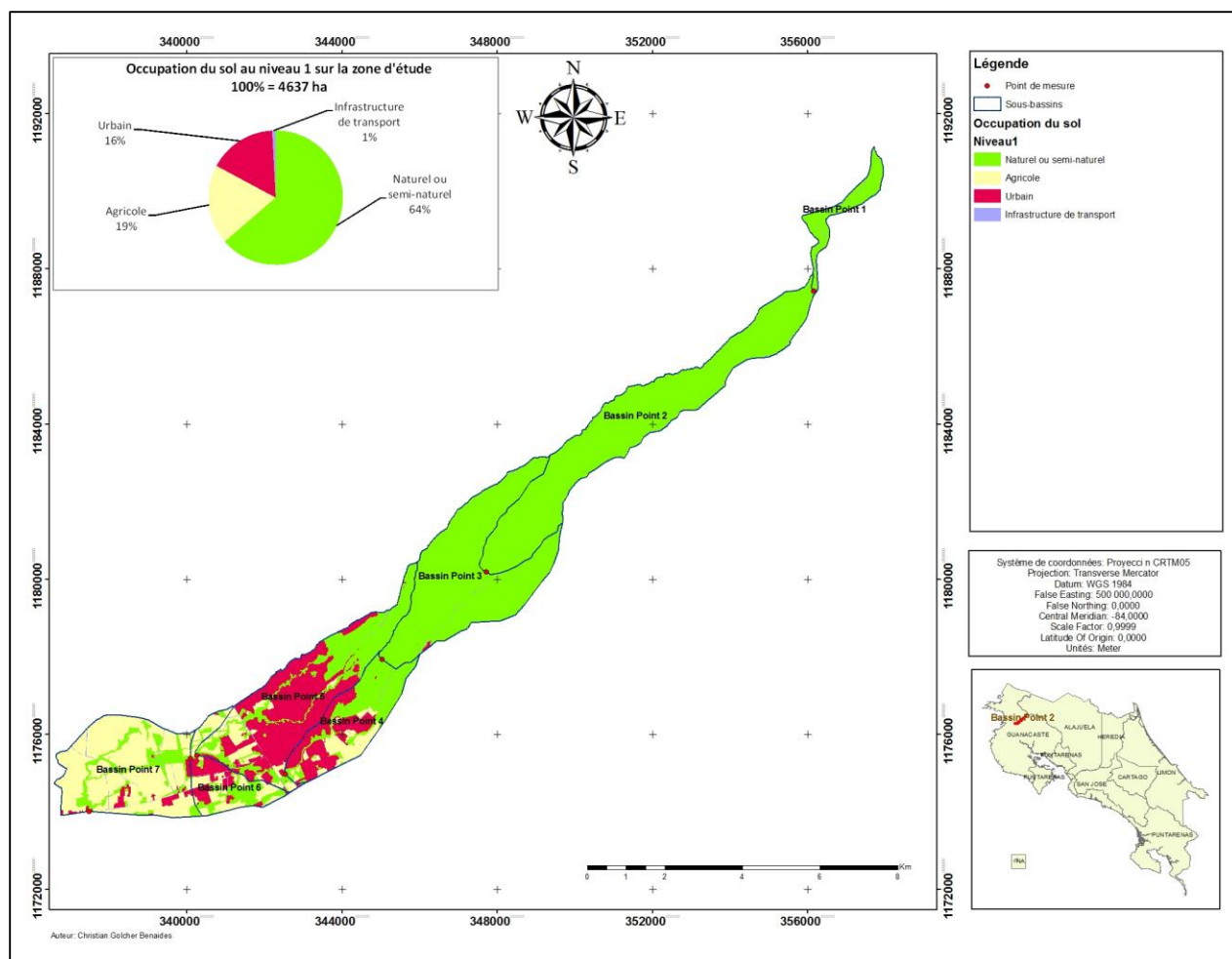


Figure 33. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau I).

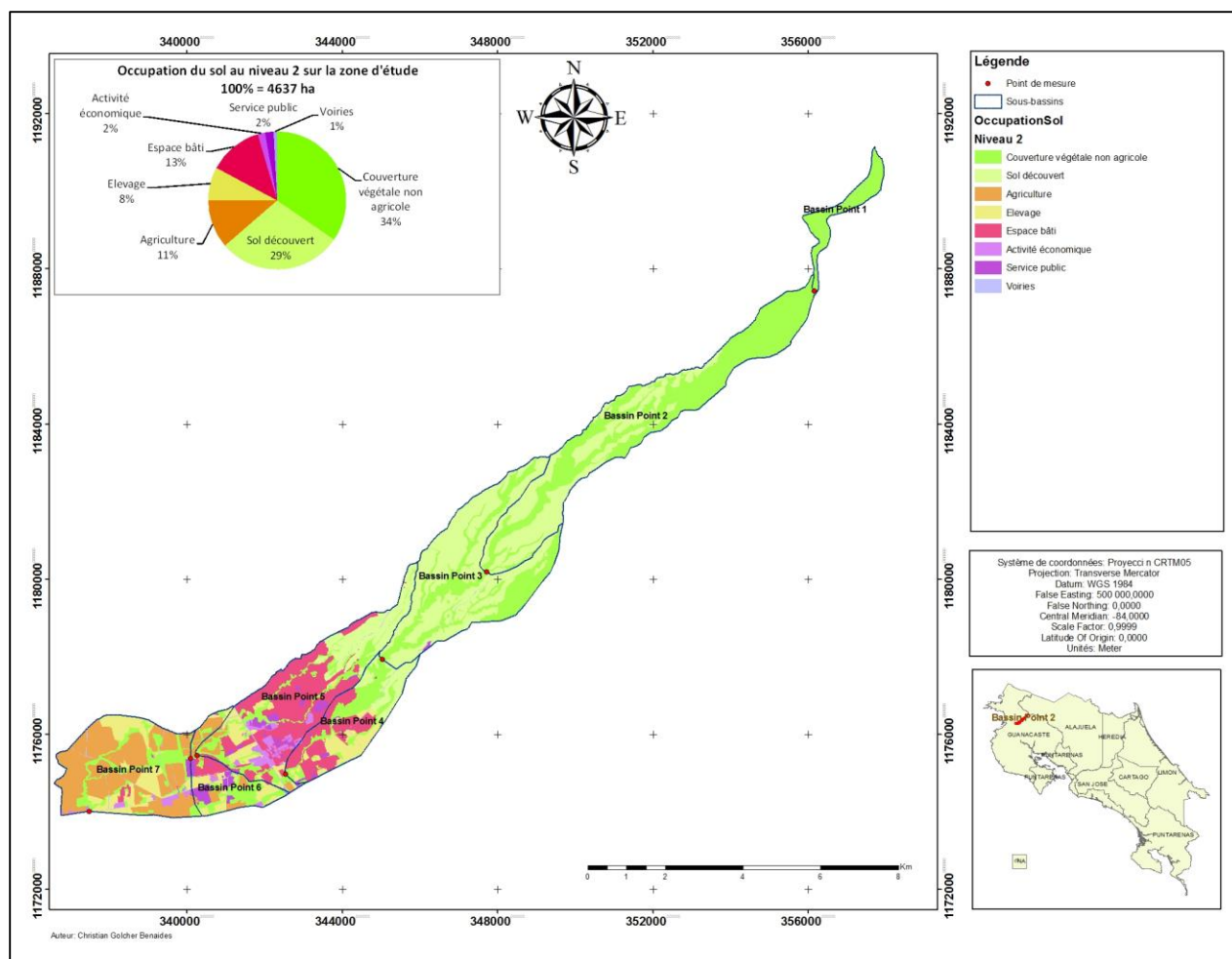


Figure 34. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau II.).

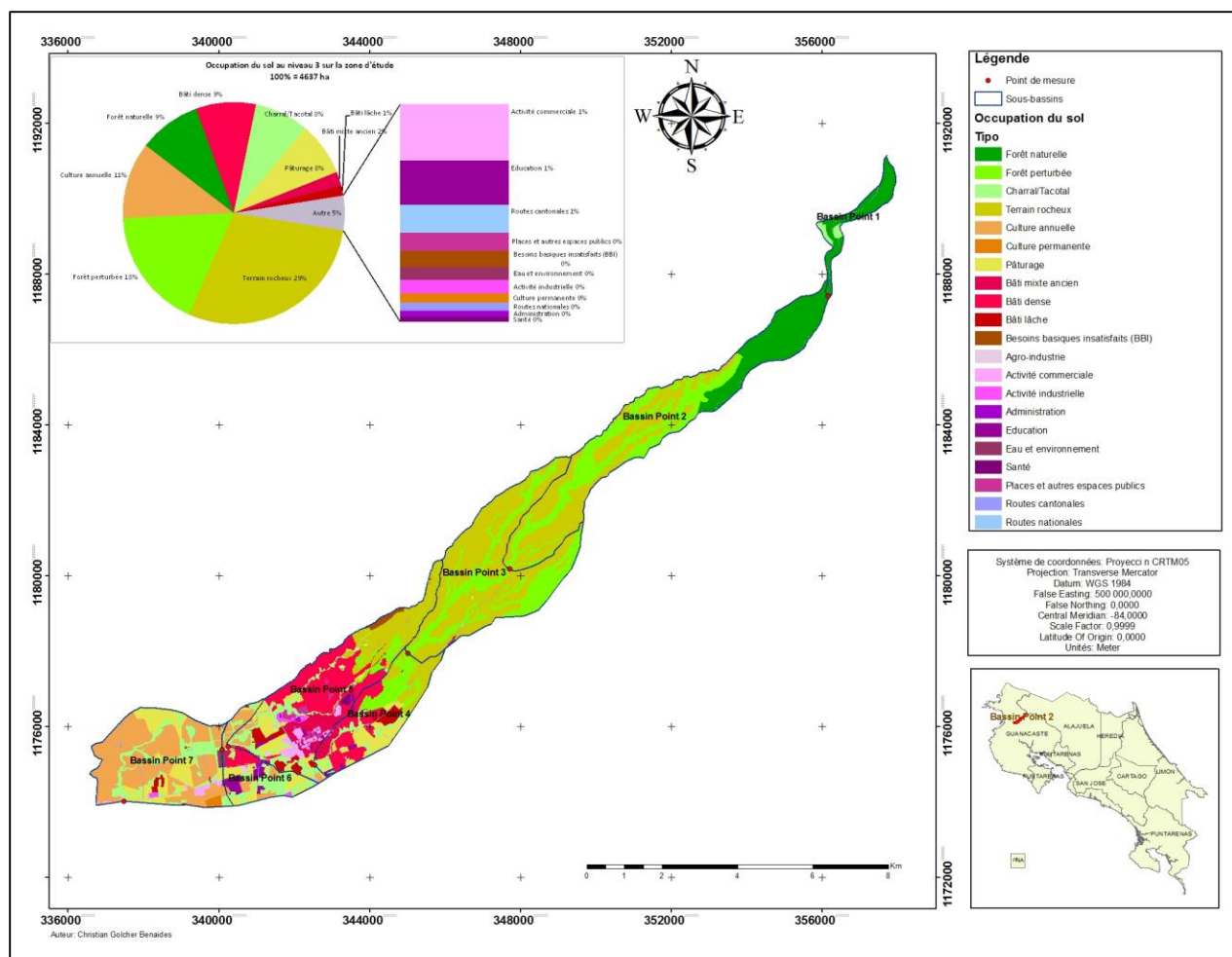


Figure 35. Occupation du sol de la zone d'étude (niveau III.).

A partir de la station S₄-Lc, les zones urbaines et agricoles recouvrent progressivement la surface du bassin versant. Les espaces naturels et semi-naturels couvrent toutefois, la majeure partie de la zone d'étude (63,7 %), suivies des espaces agricoles (19,2 %) et finalement des urbains (17,1 %). La zone présente un changement important de l'occupation du sol entre stations de l'amont vers l'aval, pour devenir un bassin à forte pression urbaine, spécialement à la station S₅-Ec.

Le niveau II de l'occupation du sol permet de préciser les importances des couvertures végétales non agricoles et des sols découverts représentant respectivement 34,6 % et 29,1 % de l'ensemble du bassin versant. L'agriculture et les zones de pâturage recouvrent 11,4 % et 7,8 % de la surface.

L'analyse détaillée de l'occupation du sol montre que les forêts préservées (9,0 %) se trouvent exclusivement en amont S₂-Ey, tandis que les forêts dégradées (17,6 %) se trouvent en aval S₄-Lc. Pourtant les charrales (7,9 %), malgré la faible proportion, sont présents dans tous les bassins versants et sont la forme prédominante de forêt rivulaire de la zone d'étude.

L'espace bâti est parmi tous les espaces urbanisés, la principale forme d'occupation du sol sur recouvrant 12,6 % de la surface. Le résidentiel dense (8,7 %), suivie du centre-ville historique (2,1 %) et du résidentiel lâche (1,4 %) sont les formes les plus importantes, les autres occupations urbaines recouvrent 4,9 % de l'ensemble du bassin versant.

Les parcelles en cultures annuelles (11,2 %) sont les plus importantes pour les occupations du sol agricoles, principalement celles situées en aval de la station S₄-Lc.

3.5.2.2. Pressions locales

A l'amont du bassin, les plateaux sont traversés par de canyons qui configurent l'hydrographie des lieux. Dans ces plateaux prédomine une végétation de faible taille avec quelques exceptions principalement de chênes (*Quercus oleoides*). Les canyons confinent les lits majeurs des cours d'eau avec conditions qui favorisent la couverture par la forêt de galerie et la végétation rivulaire.

Que ce soit en amont ou en aval, toutes les stations présentent un niveau d'altération anthropique des conditions rivulaires qui témoignent des pressions locales sur le cours d'eau (Figure 36).

L'indice de qualité rivulaire montre des bonnes conditions aux stations en amont (S₁-Sm, S₂-Ey et S₃-Lm). Les altérations observées à S₁-Sm (RQI = 109) sont spécialement sur la largeur de la rive gauche, la connectivité latérale et la morphologie. A S₂-Ey (RQI = 106), les faibles scores sont dus à l'état de la composition et de la structure de la végétation rivulaire ainsi qu'à la connectivité latérale. Le score global le plus élevé est observé à S₃-Lm (RQI = 119) modérément affecté sur la composition et la structure de la marge droite.

En zone urbaine, plusieurs attributs de la condition rivulaire subissent une importante dégradation tout particulièrement à partir de la station S₄-Lc (RQI = 73). Notamment, la régénération en aval de cette station, devient limitée à quelques espèces ligneuses, et principalement des individus matures. A partir de là, les suivantes stations ont stablement des

mauvaises conditions rivulaires. Elles sont particulièrement affectées dans leur continuité longitudinale due par les invasions urbaines récurrentes de la zone de protection des cours d'eau.

La méthodologie ne présente pas une grille d'analyse pour rendre compte de rejets de déchets solides et d'eaux résiduelles qui sont effectivement fréquents en zone urbaine.

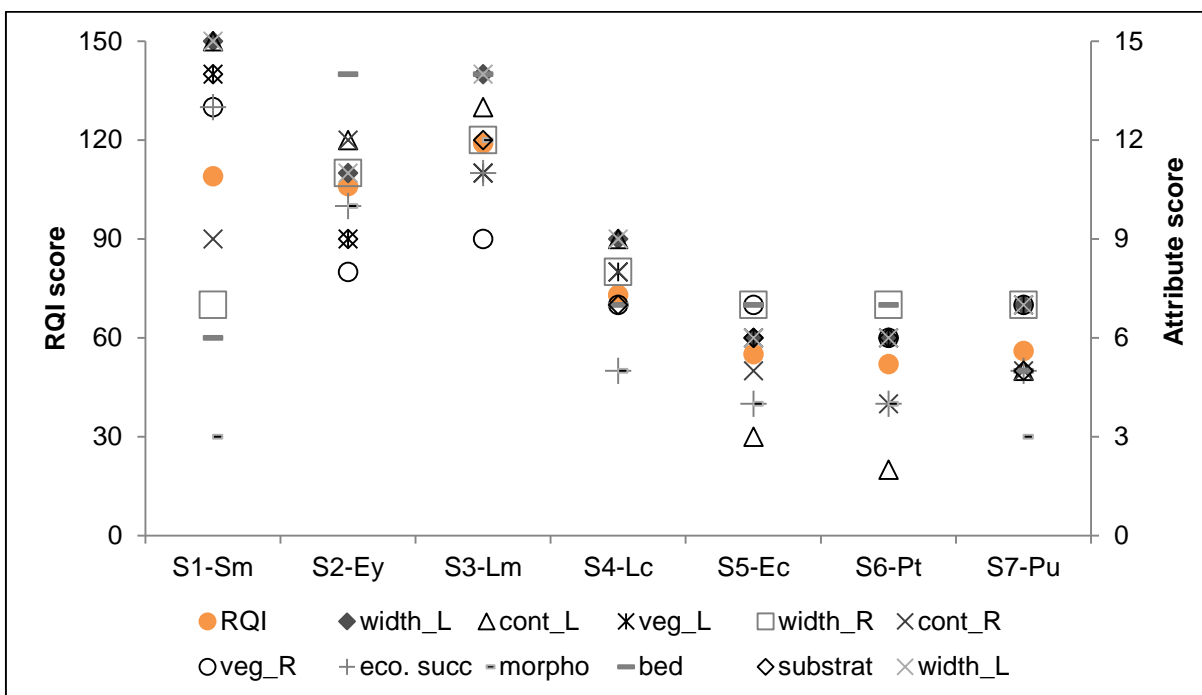


Figure 36. Scores du RQI et des attributs pour chaque station de la zone d'étude.

3.5.3. Pressions anthropiques à différentes échelles sur le río Liberia

L'indépendance entre les stations a été calculée par le test Spearman et Permutation proposé par Lalande (2013). Le test statistique "Spearman et Permutation" entre stations ne présente pas de corrélation automatique significative dans l'ensemble de données des indices de qualité de l'eau. La valeur p est de 0,786 (respectivement 0,120 et 0,058) pour PQI'CR (respectivement pour BMWP'CR et FCC'CR). On peut considérer que les indices de qualité de l'eau sont indépendants entre les stations. Les relations entre les indices de qualité de l'eau et les descripteurs de pression globale et locale, sont déterminées à l'aide du coefficient de corrélation de Spearman en utilisant les valeurs médianes pour réduire l'influence des valeurs extrêmes. Le coefficient de corrélation de Spearman est recommandé pour l'analyse d'échantillons de petits effectifs (Lalande, 2013).

La Figure 37 présente la corrélation entre les indicateurs des pressions globales et locales avec les scores des indices réglementaires étudiés. Les coefficients de Spearman sont donc calculés entre les médianes des indices de qualité de l'eau calculées pour chacune des stations de suivi, avec les onze indicateurs du RQI (attributs et indicateur) et les trente-trois indicateurs de l'occupation du sol pris un par un. Les graphiques représentent en abscisses les coefficients de Spearman et en ordonnées, les indicateurs de pressions qui sont classés de haut en bas. On présente tout d'abord, les onze indicateurs de pression locale (attributs + indicateur RQI), puis ensuite on présente les indicateurs de pression globale issus de l'occupation du sol commençant par le niveau 1, suivi du niveau 2, et tout en bas le niveau 3.

Le PQI'CR et le FCC'CR présentent une très forte corrélation avec les pressions globales et locales. En effet, plusieurs valeurs absolues des coefficients calculés dépassent respectivement les valeurs seuils $r\alpha = 0,786$, correspondant un intervalle de confiance de 95 %. En revanche, le BMWP'CR présente des corrélations moins marquées et moins nombreuses : quelques corrélations sont supérieures à la valeur seuil de $r\alpha = 0,657$ correspondant à un intervalle de confiance de 80 %.

Les scores du PQI'CR présentent des corrélations significatives avec 78,6 % (33 sur 44) des descripteurs de pression globale et locale. A l'échelle globale, trois des quatre classes d'occupation du sol du niveau I sont corrélées (les routes ne sont pas corrélées). 2/8 classes du d'occupation du sol du niveau II ne sont pas corrélées (routes et sols nus). 5/21 classes d'occupation du sol du niveau III ne sont pas corrélées (forêts dégradées, charrales, rochers, vergers, routes secondaires). A l'échelle locale, l'indice RQI est corrélé et seuls 3/10 attributs ne sont pas corrélés (largeur rive droite, morphologie et lit).

Avec les scores du BMWP'CR, seuls 23,8 % (10/44) des descripteurs de pression globale et locale ont une corrélation positive ou négative. A l'échelle globale, seule la classe urbaine du niveau I est corrélée, ainsi qu'une seule classe naturelle (végétation naturelle) et une urbaine du niveau II (services publics-facilities) et une classe naturelle (forêts) et trois classes urbaines du niveau III (bidonvilles (besoins basiques insatisfaits), eau et environnement (dont la station d'épuration) et santé (hôpital et cliniques)). A l'échelle locale, seuls les trois attributs du RQI concernant la berge gauche sont corrélés.

Pour le FCC'CR, 35,7 % (15/44) des descripteurs montrent une forte corrélation avec les scores de l'indice. A l'échelle globale seule la classe urbaine est corrélée, ainsi que deux classes

urbaines du niveau II (bâti et services publics) et cinq classes urbaines du niveau III (3 types d'habitats sur 4, les lieux liés à l'éducation et aux places et autres espaces publics). A l'échelle locale, la corrélation avec le RQI est significative tout comme avec la quasi-totalité des descripteurs liés à la végétation des berges.

Par conséquent, les indices physico-chimiques et bactériologiques semblent plus efficaces pour identifier l'influence à partir des descripteurs de pression. Le PQI'CR est moins discriminant que le FCC'CR. Le BMWP'CR, bien que moins corrélé, met en évidence une bonne corrélation avec l'occupation des sols urbains et en particulier avec les installations sanitaires et les zones d'habitats aux besoins non satisfaits.

Les signes des corrélations (positif ou négatif) sont tous cohérents. Ainsi, les descripteurs locaux indiquant la présence de végétation de la berge gauche de la rivière (berge qui est moins soumise à la pression urbaine) présentent une corrélation positive pour BMWP'CR, négative pour les deux autres indices et traduisent le rôle de la végétation dans l'amélioration de la qualité de l'eau. Parmi tous les descripteurs de pression globale, et si les descripteurs des zones urbaines sont bien liés à une dégradation des indices, il est intéressant de noter que l'analyse conjointe des corrélations entre FCC'CR et BMWP'CR et les différents types d'habitats permettent de distinguer les zones d'habitats aux besoins non satisfaits des autres zones d'habitats. Ceci est lié soit à la localisation (i.e. proximité de la station d'épuration d'eaux usées) soit à des différences de pratiques en termes d'usages de l'eau.

Les résultats suggèrent que les occupations du sol urbaines et dans une moindre mesure, agricoles sont les prédicteurs les plus importants de la dégradation de la qualité de l'eau du río Liberia, tandis que les conditions naturelles et les bonnes conditions rivulaires prédisent une meilleure qualité de l'eau, conformément aux résultats présentés dans la littérature (Fierro et al., 2017; Morais et al., 2004; Nash et al., 2009; Sliva and Dudley Williams, 2001). En effet, de bonnes conditions rivulaires peuvent contribuer affectivement à réduire les concentrations de nutriments qui passent dans la rivière et à protéger les communautés de macroinvertébrés (Anbumozhi et al., 2005; Miserendino et al., 2011; Sliva and Dudley Williams, 2001).

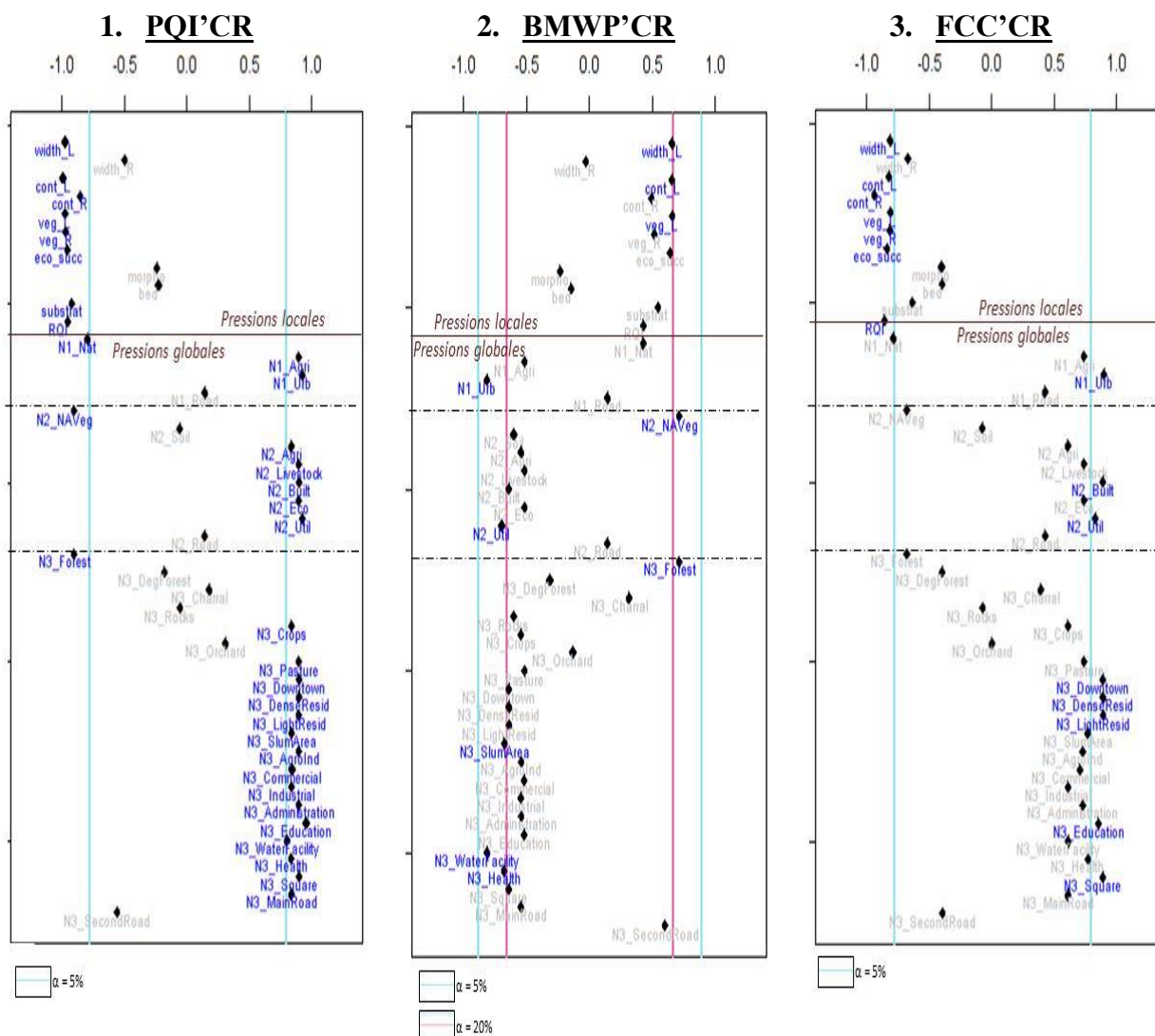


Figure 37. Indices de Spearman calculés entre les médianes des indices réglementaires de qualité de l'eau calculées pour chaque station de mesure, avec les onze indicateurs du RQI (pressions locales) et les trente-trois indicateurs de l'occupation du sol (pressions globales)

3.6. Leçons acquises

L'efficacité des indices réglementaires de qualité de l'eau pour évaluer les pressions anthropiques globales et locales a été étudiée sur le Liberia par le biais de campagnes d'échantillonnage menées de 2013 à 2015 sur sept stations de qualité de l'eau. La dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval est confirmée pour les composants physico-chimiques, biologiques et bactériologiques.

L'altération de la qualité de l'eau observée montre : (i) que la DBO_5 est le facteur critique pour l'indice de qualité de l'eau du PQI'CR, (ii) que le comportement du BMWP'CR se caractérise par une perte importante de biodiversité et par la prédominance de quelques familles résistantes à la pollution, et (iii) que la présence de coliformes fécaux augmente grandement dans les zones urbaines.

Il est difficile d'observer une influence claire des conditions climatiques sur les indices de qualité de l'eau. Néanmoins, on distingue deux types différents de variabilité temporelle : peu de variabilité temporelle pour les stations amont et variabilité très marquée pour les stations en aval. Les processus et facteurs hydrologiques qui pourraient avoir un effet pendant la saison des pluies sont nombreux : l'activité des affluents de la rivière habituellement à sec, le ruissellement naturel et urbain (le système de drainage pluvial et des effluents est non contrôlé), la composition et le débit de l'effluent de la station d'épuration. Pour aller plus loin dans l'analyse, il serait nécessaire de connaître les débits et les situations hydrologiques antérieures lors des observations des indices de qualité de l'eau. A titre d'exemple, les données de débit lors des prélèvements futurs pourront être effectuées en utilisant la méthode décrite par (SINAC/PNUD, 2015), par le biais de jauge numérique de débit.

L'influence des pressions globales et locales sur la qualité de l'eau a été révélée par l'analyse des corrélations. Le PQI'CR avec un intervalle de confiance de 95 % présente des corrélations significatives avec la plupart des descripteurs de l'occupation du sol et des zones rivulaires. Le PQI'CR (tout comme les classes de PQI'CR) est donc peu discriminant. Les influences négatives des descripteurs d'habitats urbains et les influences positives des bonnes conditions rivulaires sont identifiées par le FCC'CR avec un intervalle de confiance de 95 %. Le BMWP'CR quant à lui, cible principalement les influences urbaines pour un intervalle de confiance de 80 %.

En conclusion, les indices spécifiés dans la réglementation costaricienne peuvent qualifier efficacement les écosystèmes des eaux de surface particulièrement menacés par les impacts des sources de pollution par les matières organiques, y compris les matières fécales (PQI'CR et FCC'CR). Le BMWP'CR basé sur la détermination des invertébrés benthiques, démontre sa capacité à mettre en évidence la dégradation de l'eau due aux impacts urbains notamment pour la station de traitement des eaux usées. Cependant, la littérature met en évidence que de nombreux polluants conventionnels et émergents issus des activités humaines ne peuvent toujours pas être identifiés par ce type d'indices (Farré et al. 2008), en particulier ceux provenant de la station d'épuration des eaux usées (Rosal et al., 2010). L'évaluation des pressions qui interagissent dans les systèmes d'eau douce constitue toujours un défi qu'il convient de relever (Craig et al., 2017).

Le système de classement PQI'CR rend difficile la compréhension complète des conditions responsables de l'altération de la qualité de l'eau. En outre, même si le FCC'CR est conçu à des fins sanitaires plutôt que pour qualifier l'état de l'écosystème aquatique, il s'est montré sensible à pressions globales de type habitats (excepté les bidonvilles) et certaines espaces publiques (écoles, places) et locales (essentiellement liées à la végétation). Même avec un intervalle de confiance moins important, le BMWP'CR reste précis pour cibler principalement les rejets de la station d'épuration.

Bilan :

Les indices réglementaires permettent-ils de rendre compte de la qualité de l'eau ?

Réseau de suivi

- 15 campagnes de suivi sur la qualité de l'eau (2013-2015)
- 7 stations de mesure selon les pressions

⊗ Malheureusement on n'a pas toutes les données pour toutes les dates (acquisitions peu ou pas possible en hautes eaux, pertes d'échantillons après un défaut de conditionnement, opération délicate en climat tropical...)

Analyse temporelle

- Pour contourner le manque de données de débit, on a évalué les conditions hydrologiques par des indices pluviométriques
- Toutes les conditions hydrologiques (D₁, D₂, H₁ et H₂) ont été observées durant les campagnes
- L'indice pluviométrique n'a pas permis d'identifier clairement l'influence des conditions hydrologiques sur la qualité de l'eau

Analyse spatiale

☺ Les analyses de corrélation avec les indices de qualité de l'eau arrivent à rendre compte des pressions globales et locales

- Pressions globales spécialement identifiées :
 - Pressions urbaines, STEP
- Pressions locales spécialement identifiées :
 - Berge gauche, succession écologique
- Le PQI'CR, peu discriminant, est sensible à (presque) toutes les pressions
- Le BMWP'CR et le FCC'CR sont plus discriminants
- La lecture combinée des trois indices permet d'identifier l'ensemble des pressions de façon cohérente et complémentaire.

IV. Estudio geográfico de la relación del ser humano con el hidrosistema: Un estudio de la percepción y representaciones cartográficas

Eléments de synthèse : Etude de la relation entre l'être humain et le cours d'eau par la perception et les représentations cartographiques.

Pour mieux comprendre les pressions anthropiques exercées sur l'hydrosystème et l'état de la rivière, ce chapitre cherche à construire une nouvelle connaissance de l'espace géographique de la zone d'étude. Il s'agit d'étudier la relation qu'entretiennent les usagers de la ressource avec le cours d'eau (Ostrom, 2009). La perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ? L'hypothèse de ce chapitre est que la relation que les gens entretiennent avec l'hydrosystème (et donc leur point de vue sur les pressions et l'état de la rivière) peut être appréhendé à partir de deux éléments de base : (1) la perception de l'état de la rivière et (2) la proximité des personnes dans leur quotidien avec le cours d'eau.

Les usagers sont classés en deux catégories différentes de riverains : les "habitants" sont les résidents permanents de la zone d'étude, et les acteurs économiques riverains, appelés "acteurs économiques", incluant les différents établissements situés à proximité du cours d'eau et pouvant avoir une interaction avec l'hydrosystème. La méthodologie générale de ce chapitre est présentée Figure 38. Les trois étapes principales de la méthodologie sont : (1) le choix et la construction de l'enquête, ensuite (2) l'échantillonnage, passant par la définition des sous-populations d'intérêt, la technique d'échantillonnage et son application et (3) l'analyse des données avec un focus sur la perception et la fréquentation permettant de cartographier des sites-clés. Ces sites-clés sont des endroits identifiés le long du río et ses ruisseaux, qui sont fréquentés ou qui présentent un important degré de dégradation selon les usagers.

L'enquête a été effectuée en 2016 par 5 opérateurs, auprès de 100 habitants sur les 39 000 recensés sur la zone d'étude par l'INEC (2011) et de 32 acteurs économiques riverains, après le choix d'une stratégie d'échantillonnage spécifique.

Les habitants ont été ainsi échantillonnés proportionnellement à la population de chaque quartier de la zone d'étude (un quartier est défini comme le périmètre regroupant tous les habitants rattachés à un même bureau de vote), avec un niveau de confiance de 95 % et une

marge d'erreur de 9 %. L'échantillon ne permet pas de comparaison possible entre les quartiers mais offre une bonne représentativité de l'hétérogénéité spatiale de la population.

Pour le recensement des acteurs économiques riverains, un buffer de la rivière et des ruisseaux de 50 m représentant d'un demi-bloc de bâti urbain a été défini. Après l'inventaire exhaustif des établissements localisés à l'intérieur de ce buffer, un total de 32 acteurs économiques, dont 16 propriétaires, a été enquêté.

Le questionnaire établi a cherché à identifier divers éléments de la relation homme/rivière dans un contexte essentiellement urbain. Ce questionnaire est composé de 63 questions et sa mise en œuvre dure environ 30 minutes. Les questions portent sur (1) les caractéristiques socio-économiques de la personne enquêtée, (2) sa perception sensorielle (visuelle et olfactive) de l'état de la rivière et (3) ses pratiques et usages du cours d'eau, et plus spécialement ses habitudes de fréquentation.

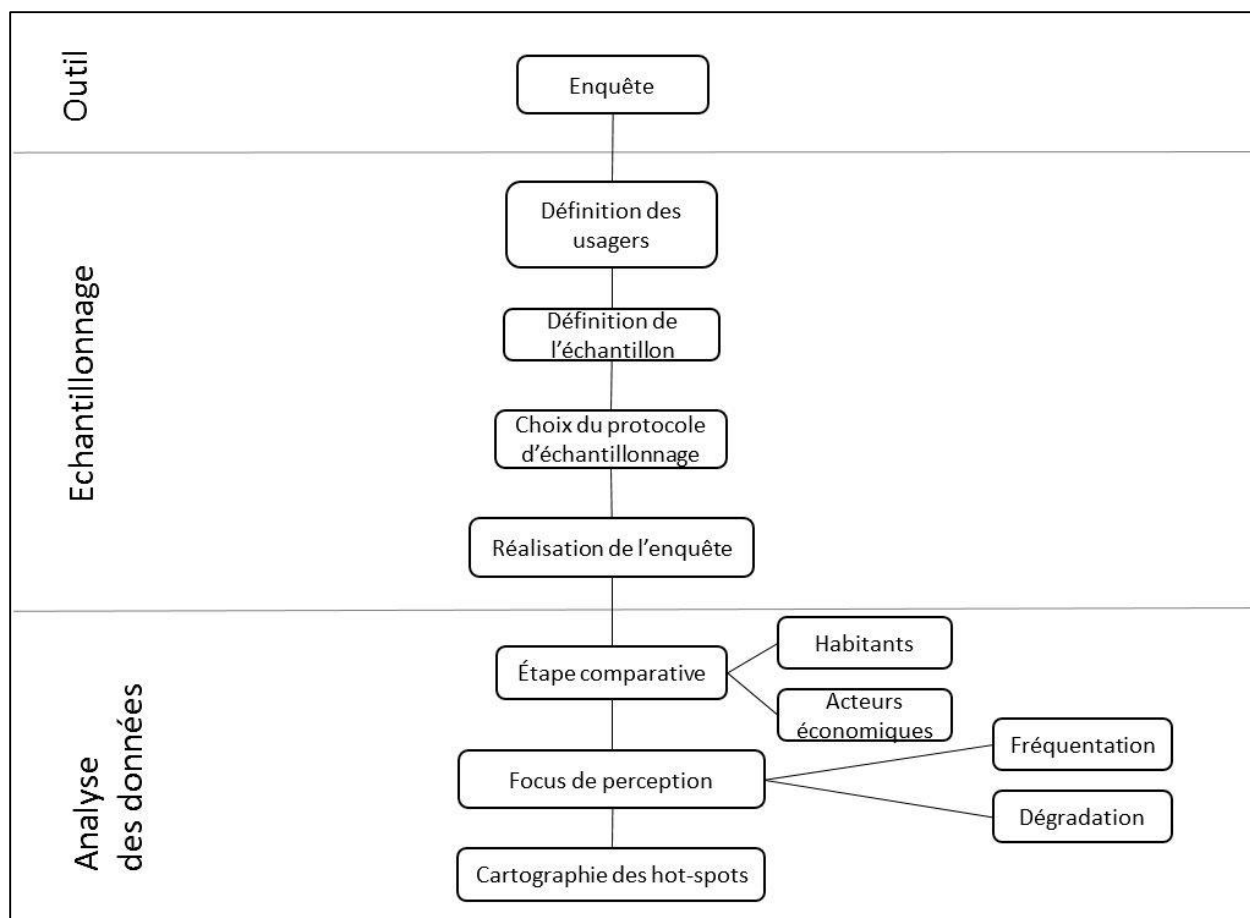


Figure 38. Méthode suivie pour répondre à la question : la perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ?

Les habitants enquêtés sont majoritairement des femmes avec un faible niveau d'éducation. 51 % sont non-actifs entre femmes au foyer, retraités et chômeurs et 12 % sont étudiants. Quant aux acteurs économiques ce sont majoritairement des hommes qui ont répondu entre 19 et 74 ans avec un niveau éducatif moyen. 62 % des commerces et services enquêtés réalisent une activité potentiellement polluante.

Quelles sont les caractéristiques et les différences entre la relation avec l'hydrosystème des deux catégories d'usagers étudiées ? 40 % des habitants fréquentent la rivière presque tous les jours alors que les acteurs économiques y vont rarement (63 % jamais). Les premiers la franchissent ou y vont pour des activités récréatives mais les seconds mettent en avant la réalisation de travaux volontaires de restauration (notamment ramassage de déchets). Dans tous les cas, il existe un consensus autour d'une dégradation reconnue par tous. On observe une vision

un peu plus négative des acteurs économiques par rapport aux habitants mais, l'état de la végétation rivulaire est perçu positivement par tous, en particulier par les habitants.

Il y a donc une convergence de vue des deux catégories d'utilisateurs autour de la perception de la dégradation de l'hydrosystème. Le milieu est un espace sale et dangereux pour la grande majorité des deux groupes. Ce n'est pas seulement un danger de nature physique (peur d'avoir un accident ou surtout une maladie comme la dengue, la chikungunya et le zika associées à la rivière), mais c'est aussi une crainte de nature sociale, notamment de se faire agresser. En revanche, les habitudes de fréquentation sont clairement différentes entre habitants et acteurs économiques. Les premiers ont une fréquentation quotidienne liée surtout au franchissement du cours d'eau, alors que les acteurs économiques riverains fréquentent rarement l'hydrosystème et ces rares fréquentations sont essentiellement liées à des activités collectives de restauration écologiques. Parmi les habitants, hommes et femmes ont une perception de l'état de la rivière assez similaire, alors que l'âge, le niveau scolaire et l'activité de travail pourraient expliquer les différences de perception de la dégradation et de pratiques de fréquentation. Par exemple, les plus jeunes et les moins instruits ont une perception moins sensible au danger que les autres groupes.

Le questionnaire a également permis de construire une cartographie de la rivière, en termes de site-clés de fréquentation et de perception de la qualité de l'état du cours d'eau (Figure 39). La fréquentation de la rivière est différente selon le type d'utilisateurs. Si la rivière est perçue comme un espace dégradé et dangereux par la majorité des riverains, la partie amont du cours d'eau peu fréquentée, et quelques sites urbains, sont toutefois appréciés pour leur bonne qualité et sont fréquentés pour des activités récréatives dont la pêche.

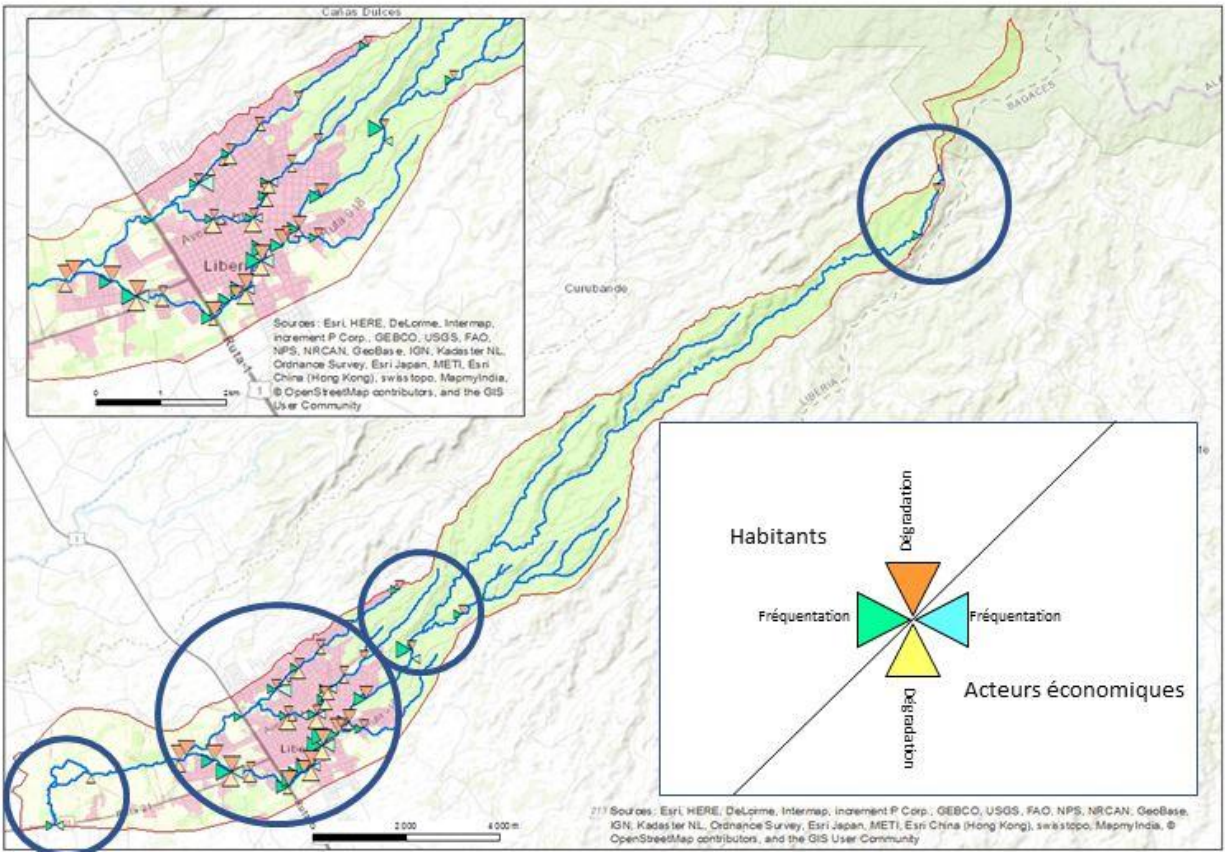


Figure 39. Site-clés de fréquentation et de dégradation des habitants et des acteurs économiques.

Les niveaux de fréquentation et de dégradation perçue par les habitants pour chacun des site-clés identifiés sont représentés en abscisses et ordonnées dans la Figure 40. Les site-clés sont des endroits fortement passants et/ou des endroits considérés comme très dégradés qui se trouvent dans la partie urbaine du bassin. On peut mettre en évidence différents sites géographiques. Il s'agit d'abord des ponts sur le río Libéria, par exemple le pont Puente Real, au centre-ville est le plus important de tous. Certains espaces non fréquentés sont considérés comme importants en termes de dégradation. Dans cette catégorie se trouve le rejet de la station de traitement des eaux usées de l'AyA (quartier El Capulín, à l'aval). Certains points qui, bien que perçus parfois faiblement dégradés sont très visités comme la *Poza Los Mangos-Saca de Agua*, juste à l'amont de la ville.

Il y a un niveau important de coïncidence entre les points qui sont fréquentés et ceux qui sont indiqués comme dégradés. Les site-clés s'ordonnent selon l'organisation urbaine : les sites-clé qui présentent la plus forte occurrence de fréquentation et de dégradation se trouvent dans le

centre historique en premier temps, suivi des quartiers à l'ouest de la route interaméricaine. Les plusieurs points indiqués sur les ruisseaux affluents sont moins fréquents. Les sites-clés identifiés comme des rejets sont perçus très dégradés et ne sont pas fréquentés. .

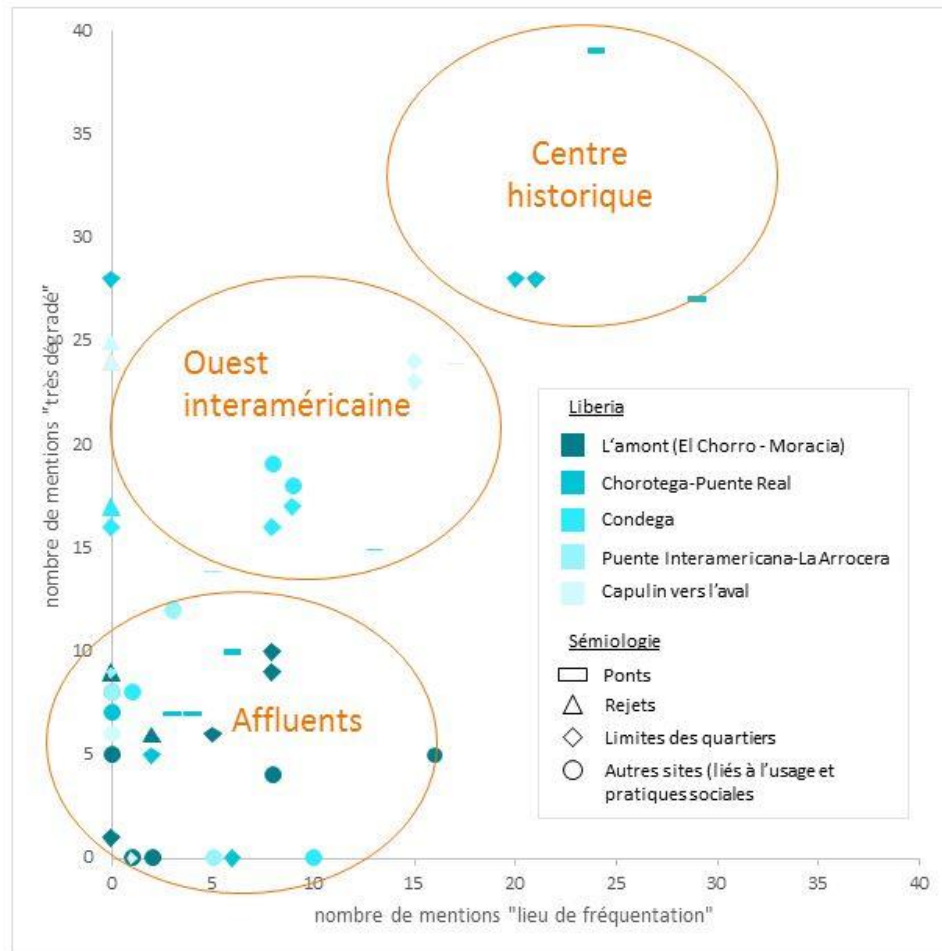


Figure 40. Niveau de fréquentation et de dégradation des points indiqués par les habitants.

En conclusion, la perception de la rivière par les habitants et les acteurs économiques riverains permet de comprendre la relation que ces usagers ont avec le cours d'eau. Ces deux catégories d'utilisateurs présentent des intérêts et mécanismes différents qui façonnent leurs rapports avec l'hydrosystème.

Bilan : Leçons acquises

La perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ?

Une enquête des perceptions

- Habitants : échantillonnage stratifié par quartier
- Acteurs économiques : recensement des établissements à proximité des cours d'eau

Caractéristiques socio-professionnelles des usagers

- Habitants :
 - 51 % : Non actifs (femmes au foyer, retraités, chômeurs)
 - 37 % : Actifs
 - 12 % : Étudiants
- Acteurs économiques :
 - 50 % : Propriétaires
 - 25 % : Administrateurs
 - 25 % : Autres

Caractérisation & comparaison des avis des usagers

- Une dégradation reconnue par tous
- Une perception un peu plus mauvaise de la part des acteurs économiques
- La végétation rivulaire est perçue de façon positive par les habitants

Cartographie des site-clés

- Localisation et hiérarchisation des site-clés de fréquentation et de dégradation
- Les site-clés s'ordonnent selon l'organisation urbaine :
 - Le centre historique concentre les sites-clés majeurs
 - Certains points à l'ouest de la RN1 sont très fréquemment cités
 - Les affluents présentent de site-clés importants

☺ La perception de la rivière par les habitants et les acteurs économiques riverains permet de comprendre la relation que ces usagers ont avec le cours d'eau. Ces deux catégories d'usagers présentent des intérêts et des mécanismes distincts qui façonnent leurs rapports avec l'hydrosystème distincts.

4.1. Encuesta para la aprehensión de la relación de los usuarios con el hidrosistema

Para comprender las presiones y el estado del río, este capítulo busca construir nuevos conocimientos, en el espacio geográfico de la zona de estudio. Se trata de realizar el estudio de esta relación que mantienen los usuarios del recurso (Ostrom, 2009). ¿Estudiar la relación que tiene los habitantes ribereños con el cuerpo de agua permite mejorar los conocimientos científicos del río desarrollados en el capítulo anterior, y a mediano plazo mejorar la definición de acciones de control y restauración? La hipótesis de este capítulo es que dos elementos de base: 1. La percepción del estado del río y 2. La proximidad de las personas en su relación cotidiana con el río; sirven para describir la relación que tienen las personas con el hidrosistema y por lo tanto de las presiones y del estado del río desde el punto de vista de los usuarios. Para responder a esta pregunta se lleva a cabo un ejercicio de investigación (*Figure 41*) compuesto por la selección de la herramienta para recabar la información necesaria. En segundo lugar, se realizan varias actividades relacionadas al muestreo que pasan desde la definición del usuario (objeto de estudio), la definición y selección del protocolo de muestreo y la aplicación de la encuesta. Finalmente, el análisis de datos desarrollado con el fin de generar una etapa comparativa entre los usuarios estudiado, un enfoque sobre la visitación y la degradación percibida y finalmente la generación de una cartografía de puntos de interés llamados “lugares de interés” de la percepción social.

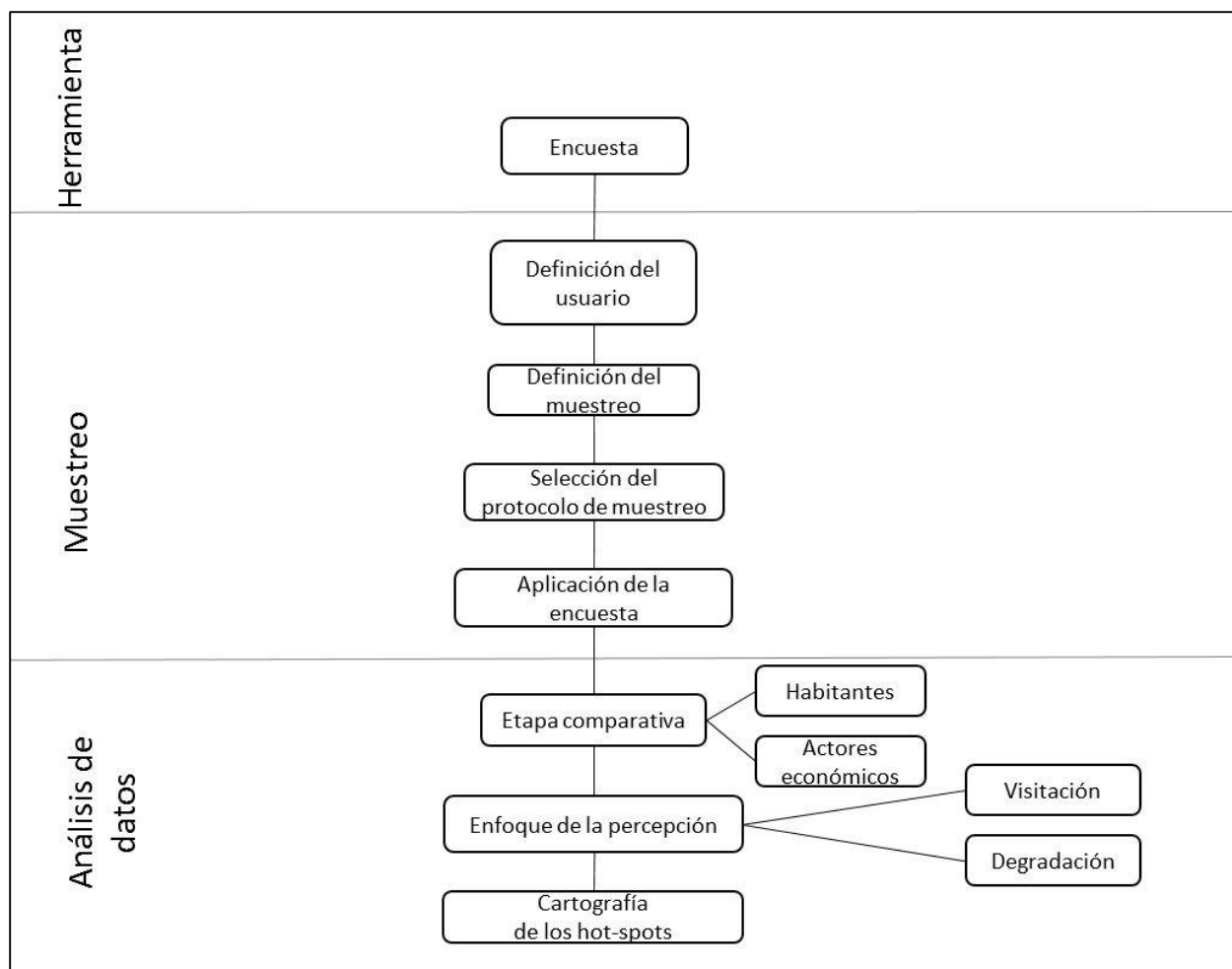


Figure 41. Método para responder a la pregunta: ¿La percepción del río por parte de los usuarios es consistente para describir la calidad del agua?

4.1.1. Presentación de la encuesta

Rivière-Honegger et al. (2014), detallan las distintas herramientas para aprehender las percepciones y representaciones sociales ligadas al agua y a los sistemas acuáticos. De las distintas herramientas posibles, la encuesta es un método estandarizado que busca normalizar y facilitar la recolección de puntos de vista. Los datos que se recolectan por medio de encuestas son por lo general fácilmente cuantificables y pueden ser tratados estadísticamente. La influencia del encuestador sobre las respuestas se considera reducida. No obstante, las preguntas abiertas, aunque son ricas en información, son más difíciles de tratar. Por lo tanto, desde el planteamiento

y la forma de la encuesta, los tipos de preguntas abiertas y/o cerradas, el orden de estas e inclusive el tiempo son elementos delicados.

Se ha diseñado una encuesta de la percepción del estado ecológico del río Liberia y sus quebradas, compuesta de 63 preguntas con un tiempo de aplicación promedio de 35 minutos. Cinco personas aplicaron la encuesta a los habitantes y cuatro a los actores económicos. Afín de aumentar la variabilidad de respuestas y la mayor representación de opiniones se aplicó el instrumento en distintos días de la semana (incluyendo fines de semana) y en distintas horas del día (horario matutino y vespertino). Las encuestas fueron tabuladas en dos bases de datos transcribiendo integralmente la totalidad de la información escrita en las encuestas de papel.

La Figure 42 muestra la estructura de la encuesta aplicada. Se obtuvo información sobre las características de los usuarios, sus prácticas y conocimientos, propiamente sobre la percepción del estado del río y finalmente información sobre el compromiso del usuario en procesos de control y restauración.



Figure 42. Estructura de la encuesta aplidada

En este capítulo son de especial importancia los elementos indicativos de las características de los usuarios, de su percepción del estado del río y sus quebradas en el contexto urbano, y su relación con el hidrosistema por medio de indicadores de cercanía física (hábitos de visitación) y de la percepción sensorial, ambiental y social. La encuesta realizada también recaba información

de naturaleza espacial. Así, conjugando los distintos elementos de la encuesta obtenemos una descripción geográfica de la relación del usuario con el hidrosistema.

También del cuestionario se obtuvo información sobre el conocimiento biofísico que tiene el usuario del hidrosistema y del nivel del compromiso ciudadano. No obstante, esta información no es analizada en el capítulo.

Resumen: *La encuesta por cuestionario como herramienta para el estudio de la percepción y proceso de aplicación de encuestas*

Un método estándar

- En total: 63 preguntas
- Duración del cuestionario: ~30 minutos
- Período de aplicación: julio – setiembre 2016 (5 operadores)

Información solicitada:

- Información del usuario: identidad, ubicación, antigüedad en el barrio
- Prácticas y conocimientos: visita, conocimientos, usos
- Percepciones y representaciones: calidad del agua, riesgos, problemática, instituciones de GIRH
- Compromiso: intercambio de información, voluntariado, confianza en las instituciones

Herramienta que permite obtener información espacial

- Puntos de visita
- Puntos de degradación percibida

Limites encontrados:

- Preguntas cerradas = tratamiento estadístico simple
- Preguntas abiertas = más ricas en información
- Heterogeneidad de la información recibida

4.1.2. El barrio como unidad de análisis socio-ecológico de la subcuenca

Para realizar el estudio de los habitantes, se ha utilizado el barrio como unidad geográfica de base. No obstante, los límites de los barrios no están definidos en función de la información censal disponible y requerida para determinar el tamaño de la población. Ha sido necesario

redefinir los barrios en función de los distritos electorales de los cuales sí se tiene información. Se obtuvo del INEC una cartografía básica presentando la población por distrito electoral y una base toponímica. En dicho censo se encuentra disponible el número de personas que habita en los distritos electorales del país (Figure 43). Los barrios han sido definidos como una agregación de distritos electorales con la información demográfica del Censo Nacional del 2011 (INEC, 2015). Se seleccionaron los distritos electorales que están en el interior de la zona de estudio, que cabe recordar está determinada por el área de drenaje de siete puntos de muestreo de la calidad del agua del río Liberia. Los límites de los barrios se definieron en función de la base toponímica y elementos geográficos como los son características físicas, límites naturales, vías de infraestructura, aspectos socioeconómicos e inclusive los límites hidrográficos del área de estudio.

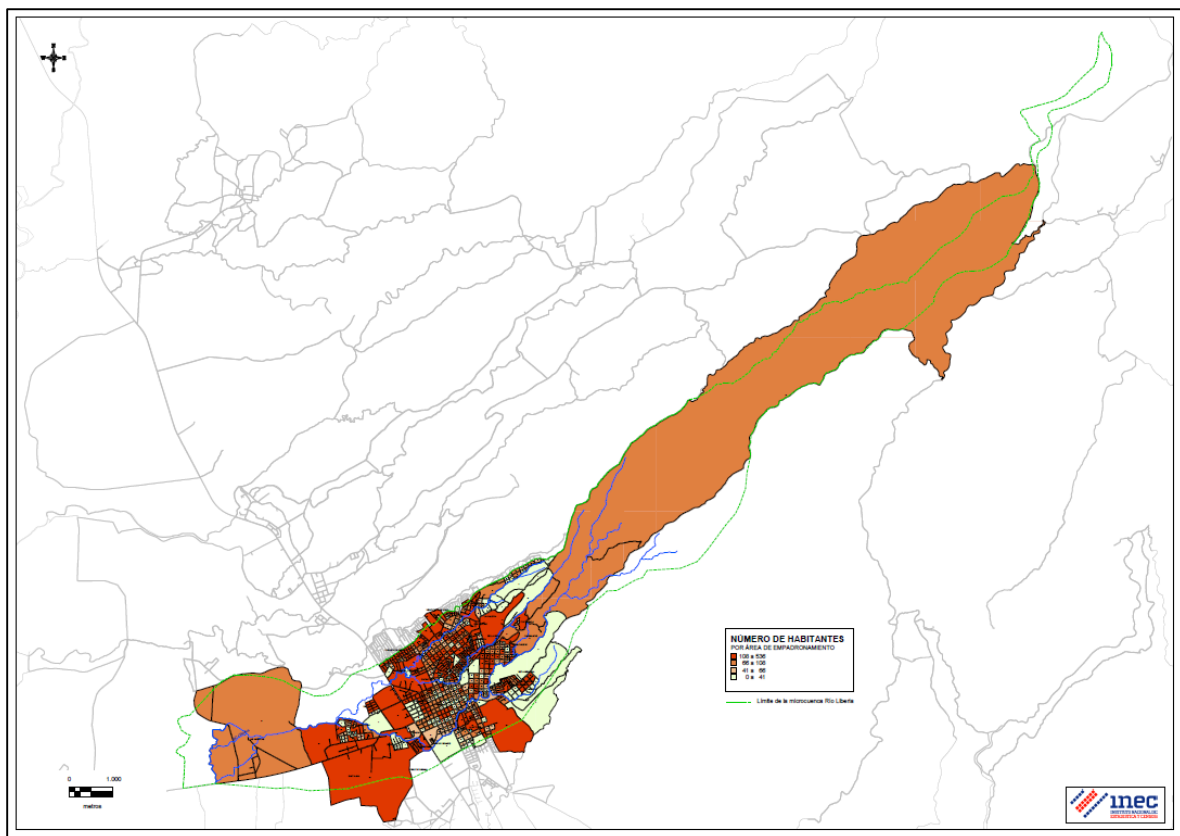


Figure 43. Mapa de lo población de los distritos electorales que se encuentran sobre el área de estudio (INEC, 2011).

Los barrios fueron configurados como se muestra en el siguiente mapa (Figure 44). Existen zonas del área de estudio que, por ser fundamentalmente áreas naturales o agrícolas, no forman parte de ningún distrito electoral, y por consiguiente de ningún barrio. Para efectos de este estudio de percepción, se han integrado la totalidad de la población asignada a cada barrio indistintamente de las porciones que pudieran salirse del área de estudio delimitada hidrológicamente.

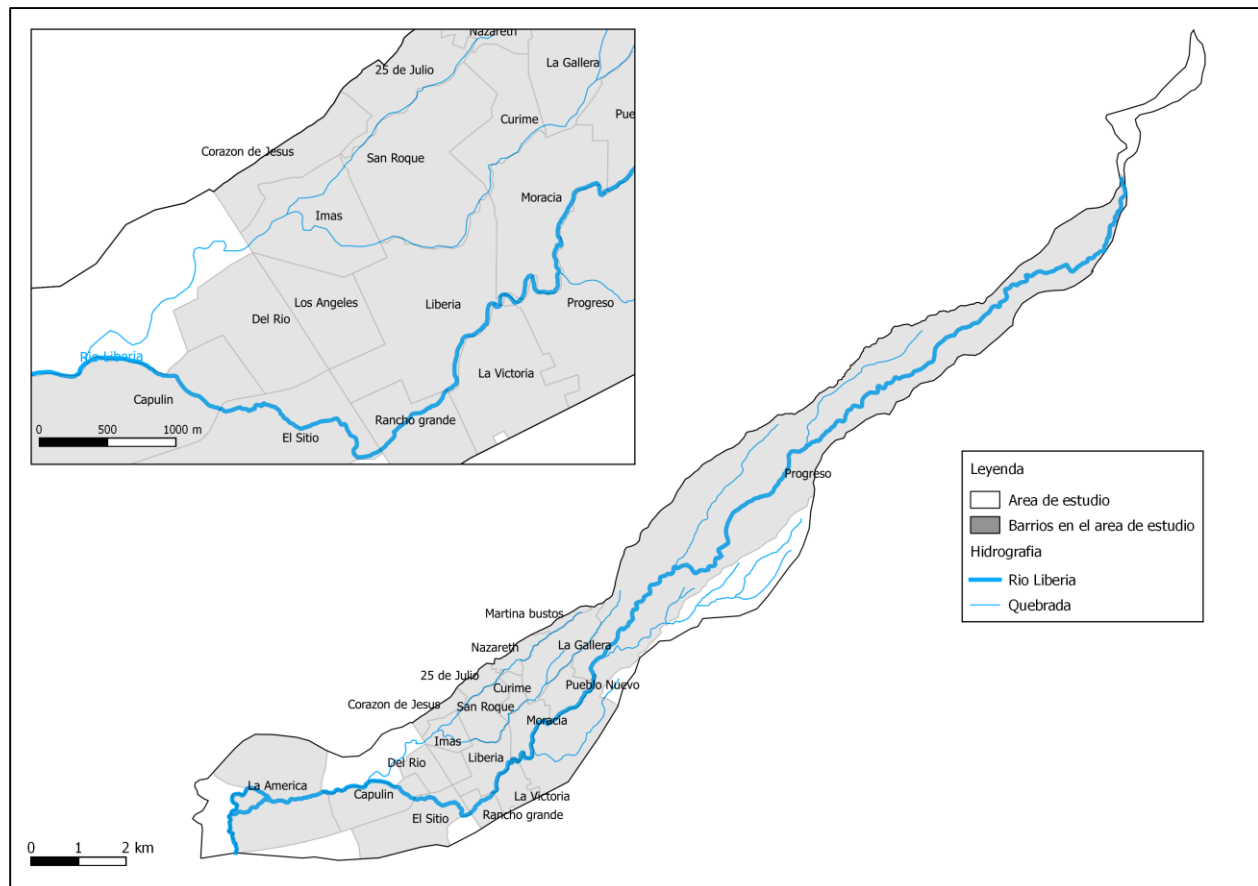


Figure 44. Delimitación de los barrios y del área de estudio.

4.1.3. Muestreo de los habitantes

De acuerdo con la información obtenida del INEC, la población del área de estudio en 2011 suma un total de 39 001 habitantes, la cual, al estar distribuida en barrios, implica la constitución de subpoblaciones (o estratos) de diferentes tamaños. Para obtener una representación estadística se selecciona el muestreo estratificado cuyo muestreo se realiza por asignación proporcional.

Así, el porcentaje de encuestas realizada por barrio debe ser proporcional al porcentaje de población que representa cada barrio para la totalidad de la población. Sin embargo, el balance de encuestas realizadas presenta algunas diferencias entre el porcentaje de población de cada barrio y el porcentaje de encuestas realizadas. Algunos barrios presentan más encuestas de las previstas y otros menos. La mayor diferencia se registra en barrio Curime. No se realizó ninguna encuesta en La América dada su escasa y dispersa población. Como lo muestra la siguiente Tableau 13, el resto de los barrios cumple lo previsto +/- una o dos encuestas. Se presentan en dicha tabla los barrios ordenados en forma decreciente en función de su población, el porcentaje sobre la población total, el número de encuestas realizadas, el porcentaje de la muestra por barrio y las diferencias porcentuales entre la prevista y la ejecutada.

Entre julio y setiembre del 2016 se aplicaron 100 encuestas a los habitantes en función de los barrios que fueron determinados anteriormente. Para un tamaño de muestra de 100 personas encuestadas se obtiene un nivel de confianza del 93 % s y un margen de error del 9 % según se detalla en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z\alpha^2 Npq}{e^2(N - 1) + Z\alpha^2 pq}$$

Dónde:

	Parámetro	Valor adoptado
N	tamaño de la población	39001
Zα	nivel de confianza	1.81 (93 %)
p	proporción positiva	0.5
q	proporción negativa	0.5
e	Error	9 %
n	tamaño de muestra	100.86

Tableau 13. Población y encuestas realizadas por barrio en términos nominales y porcentuales.

Barrio	Población	%	Encuestas realizadas	% de encuestas	Diferencia porcentual
San Roque	7780	20	21	21	-1
Liberia	3945	10	9	9	1
Moracia	3832	10	9	9	1
Corazón de Jesús	3437	9	10	10	-1
Curime	3055	8	3	3	5
La Victoria	2910	7	7	7	1
Veinticinco de Julio	2387	6	7	7	-1
El Progreso	2364	6	6	6	0
Capulin	1863	5	5	5	0
Nazaret	1795	5	5	5	0
Pueblo Nuevo	1189	3	2	2	1
Imas Córdoba	884	2	4	4	-1
Martina Bustos	764	2	2	2	0
El Sitio-Santa Ana	649	2	3	3	-1
Los Ángeles	621	2	2	2	0
Cucamunga	509	1	1	1	0
La Gallera	377	1	1	1	0
Rancho Grande	353	1	1	1	0
Del Rio	200	1	2	2	-1
La América	87	0	0	0	0
Total	39 001	100	100	100	

4.1.4. Muestreo de los actores económicos ribereños

La metodología de muestreo efectuada contempló una revisión detallada en campo para generar un inventario de los establecimientos de actividad económica que fueran ubicados en una zona tampón a proximidad del río Liberia y sus quebradas. Como ha sido descrito, existen tres quebradas, sumadas al río Liberia que atraviesan de Noreste a Suroeste y que conforman la red

hidrológica del área de estudio. Los 32 establecimientos que fueron georreferenciados son presentados en la Figure 45.

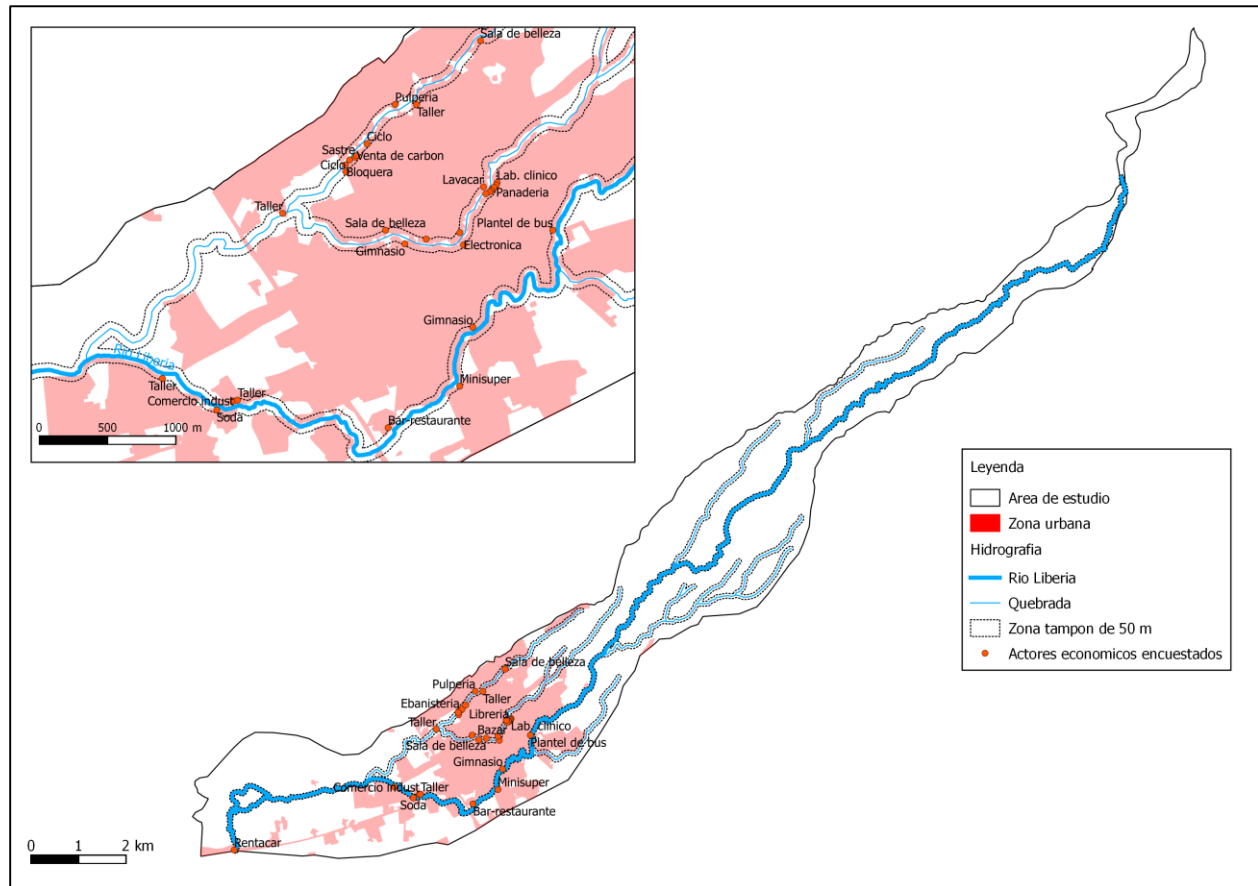


Figure 45. Localización de establecimientos de actividad económica censados en búfer de proximidad (50 m) del río Liberia y sus quebradas.

En cuanto a los actores económicos, se contabilizaron 32 establecimientos activos de actividad económica en la zona determinada por 50 metros a ambas márgenes del río Liberia y sus quebradas. La totalidad de estos fue encuestada entre los meses de junio y julio de 2016. El siguiente Tableau 14 agrupa los establecimientos censados y encuestados por tipo de actividad encontrada en el área de estudio. En su mayoría son distintos servicios que incluyen varias de bajo impacto y del sector alimentario, aunque también hay talleres, planteles, ebanisterías y comercios industriales que pueden tener un impacto mayor en cuanto a su manejo de aguas residuales.

Tableau 14. Número de establecimientos censados por tipo de actividad.

Tipo de actividad	Número de establecimientos
Varias de bajo impacto	6
Alimentario	4
Taller mecánico	4
Abarrotes	3
Salón de belleza	3
Centro médico	3
Plantel de autobuses y vehículos	2
Ciclo taller	2
Pequeño comercio de carbón	1
Comercio de materiales industriales	1
Ebanistería	1
Taller de electrónica	1
Comercio industrial de concreto	1
Total	32

Resumen: *Muestreo de los usuarios (habitantes y actores económicos)*

Para los habitantes

- Fuente INEE, 2011, Unidad: distrito electoral
 - Determinación de la población de cada distrito electoral
 - Delimitación de los 19 barrios
 - Los límites administrativos no corresponden necesariamente con los límites de la zona de estudio
- Muestreo estratificado
 - Proporcional a la población de los barrios
 - Buena representatividad de la heterogeneidad espacial de la población
 - Cuidado; no es posible la comparación entre los barrios
 - En total: 100 personas encuestadas sobre 39 000 habitantes
 - Nivel de confianza de la encuesta: 93 %, margen de error: 9 %

Para los actores económicos ribereños

- Censo exhaustivo de los establecimientos a proximidad del cuerpo de agua
 - Selección de buffer de 50 m
 - = media cuadra en el tejido urbano
 - = ambas márgenes del río y sus quebradas
- En total: 32 actores económicos censados, de los cuales 16 son propietarios

4.1.5. Cartografía de los lugares de interés de visitación y degradación percibida

De los usuarios, se obtuvieron múltiples respuestas que implican elementos espaciales y localizaciones. En ocasiones las respuestas indican puntos, mientras que, en otras, transectos y áreas (en el caso de las menciones a barrios). Los diferentes elementos mencionados fueron a veces imprecisos y requirieron un tratamiento cuidadoso. Con el fin de obtener representaciones homogéneas que conservasen integralmente las características de las menciones (en particular las cuantitativas), los transectos y áreas fueron traducidos a puntos y seguidillas de puntos sobre los cauces del hidrosistema (Tableau 15)

Se analizaron el río Liberia y sus quebradas por separado identificando, desde la parte alta en dirección aguas abajo a fin de obtener puntos “calientes” por su nivel de recurrencia por medio de un análisis matricial que se detalla en seguida.

Los puntos mencionados sobre el río y quebradas fueron localizados sobre imágenes satelitales (IKONOS, 2013) según fueron explícitamente citados. Los segmentos (recorridos de un lugar a otro) fueron definidos por dos puntos expresados con diferentes grados de precisión. En el caso de las áreas (ejemplo, “barrio X”), para definir los límites, se identificaron las intersecciones con el cuerpo de agua correspondiente o se realizaron proyecciones por cercanía. Así se establecieron el punto más alto y el más bajo (“Inicio barrio X, “Final barrio X”). Finalmente, se interpolaron los puntos de por medio entre los puntos de inicio y final sobre el cauce. Cuando se mencionaron segmentos que comprenden áreas (por ejemplo, “de barrio X a barrio Y”) se tomaron los extremos de ambos transectos producidos por la intersección entre las áreas y el cuerpo de agua correspondiente desde el punto más alto al punto más bajo (“de inicio barrio X a final de barrio Y). Dichos puntos fueron seguidamente representados en matrices de acuerdo con la ocurrencia de elementos espaciales. Se calcularon las sumatorias explícitas e implícitas de las ocurrencias de mención de cada punto o segmento agregando los puntos repetidos en circunferencias de 50 m.

Tableau 15. Simplificación del modelo de representación espacial basado en ocurrencias de puntos mencionados.

Menciones	Puntos	Río A					Punto 5
		n	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	
“Punto 3”	3	n_1			n_1		
“De punto 3 a punto 5”	de 3 a 5	n_2			n_2	n_2	n_2
“Barrio X”	de 1 a 2	n_3	n_3	n_3			
“De barrio X a barrio Y”	de 1 a 5	n_4	n_4	n_4	n_4	n_4	n_4
Sumatoria de ocurrencias			$n_3 + n_4$	$n_3 + n_4$	$n_1 + n_2 + n_4$	$n_2 + n_4$	$n_2 + n_4$

Resumen: *Identificación de los lugares de interés*

Cartografía de los puntos de visitación y degradación percibida

- Metodología en tres etapas:
 1. Posicionamiento de las declaraciones de los usuarios en el sistema hidrográfico
 2. Recuento de las declaraciones en función del tipo
 3. Agregación de los puntos vecinos para la definición de los lugares de interés
 - Selección de los puntos más citados
 - Agregación de los puntos vecinos en un buffer de 50 m
 - Evitar los dobles conteo
 - Identificación de los lugares de interés
 4. Asignación de intensidades a cada lugar de interés: débil, media, fuerte



Ejemplo: lugares de interés de degradación

4.2. ¿Son similares la cercanía y la percepción de los habitantes y actores económicos?

4.2.1. Descripción de las poblaciones encuestadas

La primera sección de la encuesta consiste en información socioeconómica sobre la persona a las cuales se les ha aplicado la encuesta. Los datos del censo 2011 presentan una cuasi paridad de género en la población de Liberia. No obstante, en los resultados obtenidos (Figure 46) de la

población habitante 61 % son mujeres y 39 % son hombres mientras que, en los establecimientos de actividad económica, 64 % son hombres y 36 % son mujeres.

Esto podría deberse a una disparidad de género en el acceso al trabajo y las labores del hogar relegadas tradicionalmente a las mujeres. Hemos obtenido una mayor frecuencia de mujeres que nos atendieron en el hogar mientras que más hombres nos atendieron en los establecimientos de actividad económica.

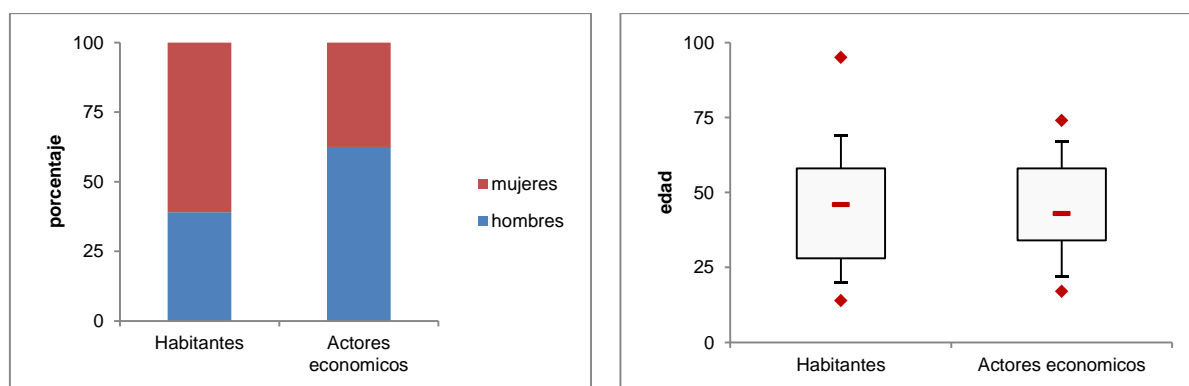


Figure 46. Porcentajes del género y distribución de la edad en los objetos de estudio.

Los siguientes graficos (Figure 47 y Figure 48) presenta la distribucion por grupos de edades y sexo en la poblacion encuestada. En el caso de la poblacion habitante, 9 % se encuentra entre los 14 y los 19 años, 36 % entre los 20 y los 39, 32 % entre los 40 y los 59 y 23 % mayores de 60 años. Hubo 41 mujeres encuestadas entre los 25 y los 54 años, mientras que en esas edades solo se encuestaron 15 hombres. Los grupos de edades con mayor numero de hombres encuestados son los de entre los 50 y 54 años y entre 65 y 69 años. En efecto, si se observan los porcentajes por edad de los encuestados en funcion del sexo, 36 % de los hombres son de esos grupos etarios.

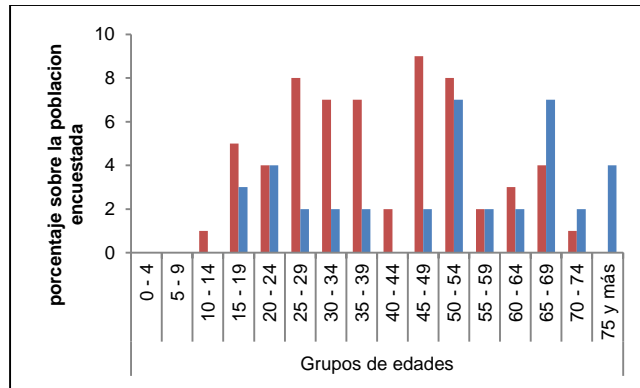


Figure 47. Distribución porcentual de los habitantes por grupos de edad y por sexo.

Observamos que nuestra muestra no presenta personas en varios grupos de edades en ambos objetos de estudio. Existe una subrepresentación de hombres en la población habitante en casi todos los grupos etarios, principalmente entre los 25 y los 49 años.

Entre los actores económicos encontramos una persona menor a los 19 años, 41 % de las personas tiene entre 20 y 39 años, 34 % entre 40 y 59 años y 22 % son mayores de 60 años. No se encuestó población entre los 50 y 54 años. Hubo una mayor distribución de hombres en los distintos grupos etarios sin embargo, no hubo mujeres encuestadas en múltiples grupos etarios (15-19, 25-29, 50-54, 60-64 y mayores de 70 años).

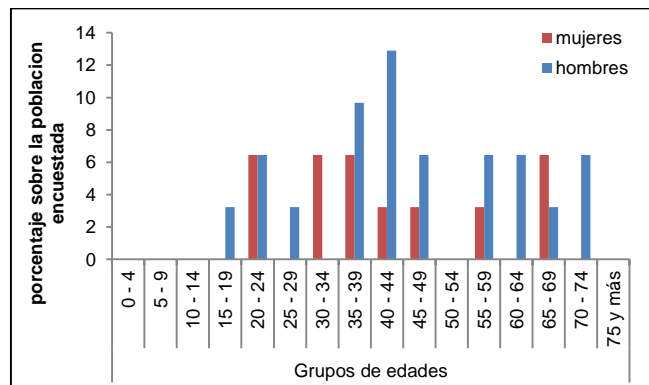


Figure 48. Distribución porcentual de los actores económicos por grupos de edad y por sexo.

Sabemos que tradicionalmente y sobre todo durante la segunda mitad del siglo XX hubo un fenómeno migratorio proveniente de otras partes de Costa Rica y de otros países principalmente de Nicaragua (Chant, 1991). Ya el Censo de 1984 presentaba 33 % de población habitante en Liberia nacida en el extranjero, en el 2011 la Encuesta Nacional de Hogares obtuvo

un 10 % de nacidos en el extranjero. No obstante, los datos de nacionalidad obtenidos a partir de las encuestas nos indican que posiblemente no es suficiente la información como para poder realizar análisis por nacionalidad, ni en el caso de los hogares encuestados ni en el caso de los establecimientos de actividad económica. Esto porque las frecuencias obtenidas de individuos de otras nacionalidades fueron marginales (Figure 49).

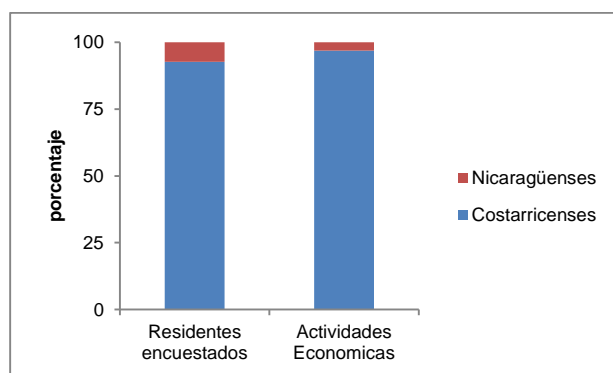


Figure 49. Nacionalidades identificadas en ambos objetos de estudio.

Considerando los esfuerzos que realiza el Estado en educación y sensibilización ambiental que ha realizado el estado costarricense (Guier Serrano et al., 2016), el nivel educativo es una variable de interés. En su mayoría, la población habitante, no terminó la educación secundaria (Figure 50). Sin embargo, el siguiente grupo mayoritario está compuesto al menos terminaron la secundaria (54 % de los hombres y 58 % de las mujeres). Por otra parte, en el caso de los actores económicos, la secundaria y la universidad completa son los grupos mayoritarios (67 % de los hombres y 58 % de las mujeres). Cabe indicar que se registraron tanto hombres como mujeres (15 % y 33 % respectivamente), sin instrucción formal o con nivel de primaria incompleta.

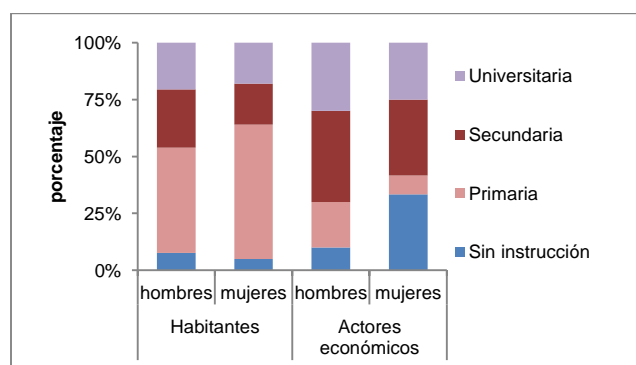


Figure 50. Nivel de instrucción por sexo obtenido en los objetos de estudio.

Las actividades que conforman el tejido económico de Liberia se inscriben en el sector agrícola, industrial y sobre todo de servicios. No obstante, el desempleo puede ser una variable que considerar, así como las personas que se han acogido a la pensión.

La siguiente Tableau 16 presenta las ocupaciones que han sido registradas en la población habitante. Se destaca la población desempleada compuesta principalmente por mujeres amas de casa, seguida de las personas pensionadas o estudiantes. Estas tres poblaciones más las que no han podido ser definidas conforman el 79 % de la muestra. Excluidos estos grupos, las personas encuestadas se dedican al comercio y ventas, a la construcción, son empleados domésticos o misceláneos, ejercen una profesión liberal principalmente en las áreas de la salud, del derecho y de contaduría. Tenemos finalmente pocos casos en los que las personas encuestadas trabajan en seguridad o transportes, educación, hotelería y restauración, y agricultura y ganadería.

Tableau 16. Ocupaciones identificadas en el muestreo sobre la población habitante.

Ocupación	Habitantes
Ama de casa	30
Pensionada/o	18
Estudiante	12
Comercio/Ventas	11
Obrero	8
Profesional liberal / empresa autónoma	9
Empleada doméstica / misceláneo	4
Agricultura y ganadería / obrero agrícola	3
Docente/ servicios de educación	3
Otros servicios	2
Desempleado	3

Finalmente, y no siendo una variable socioeconómica en sí misma, la antigüedad en el barrio puede dar luz a elementos importantes a la hora de analizar las percepciones y representaciones de los usuarios de los recursos naturales y particularmente del agua y de la condición de los ríos (Rivière-Honegger et al., 2014). El siguiente gráfico (Figure 51) presenta la antigüedad de la población encuestada en función de la edad del encuestado, es decir que fracción de su vida ha

residido en el barrio en cuestión. Un punto sobre la línea imaginaria $y=1x$ representaría una persona que ha habitado el barrio toda su vida.

Se destaca el cuadrante superior derecho que son las personas adultas mayores que han vivido toda su vida en el barrio. Sin embargo, el número de personas que han vivido toda su vida (o casi) en el lugar son 46 de todas las encuestadas. Observamos en nuestra muestra un “vacío” de personas entre 35 y 45 años que tengan entre 10 y 40 años de vivir en el barrio. Parece perfilarse una cierta línea inferior donde la población, conforme avanza su edad tiende a tener más antigüedad en el barrio. Por otra parte, se cuentan 10 personas, en su mayoría jóvenes, que han vivido menos de 7 años en el barrio y que en el conjunto, la antigüedad media de la población habitante encuestada es de 30 años.

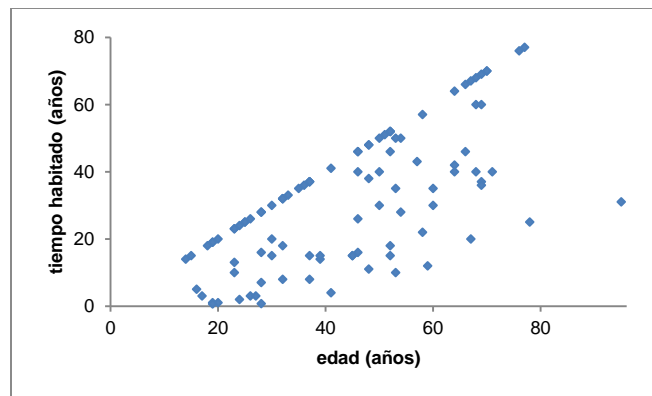


Figure 51. Distribución del tiempo habitado en el barrio en función de la edad del habitante encuestado.

4.2.2. El consenso: Una percepción negativa marcada por una percepción de inseguridad

Los usuarios, pero, sobre todo, los actores económicos encuestados, presentan una percepción predominantemente negativa cuando son consultados sobre su percepción general de la condición del río (Figure 52). La respuesta más frecuente en ambas poblaciones es el calificativo “sucio”. Las valoraciones positivas “sano” o “muy sano”, fueron marginales -para los habitantes- e inexistentes para los actores económicos. Al contrario, los calificativos: “sucio”, “peligroso” y “sucio y peligroso”, alcanzaron el 73 % y el 81 % respectivamente de las respuestas obtenidas.

Las respuestas con la indicación “regular” fueron importantes en ambos grupos encuestados. Esto debe observarse con especial atención ya que en español “regular” suele tener una

connotación negativa. De ser el caso podría haber una percepción del río cuasi-unánimemente negativa y determinada por el estado en que se encuentra en zona urbana.

Por su parte, el peligro que es asociado al río y sus quebradas ha sido manifestado en ambas poblaciones alcanzando el 32 % de las respuestas de los actores económicos y el 40 % de los habitantes. No obstante, son los actores económicos quienes más seleccionan de manera exclusiva el indicativo “peligroso” anteponiendo potenciales amenazas sobre la integridad de la actividad comercial, sobre alguna otra valoración relativa a la integridad del cuerpo de agua.

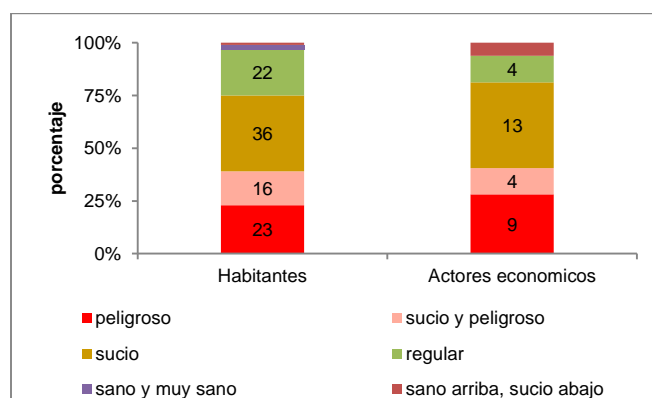


Figure 52. Respuestas de los habitantes y de los actores económicos a la consulta: ¿En su opinión cómo se encuentra el río?

En la interacción entre personas y espacios naturales, el riesgo constituye un concepto amplio que se aborda típicamente desde los ámbitos de la prevención de los desastres (inundaciones, deslizamientos, sequías inclusive), hasta el estudio de los entornos sociales. El riesgo social, es a todas luces una noción compleja por la que se estudian condiciones específicas, por ejemplo, de los procesos de marginalización y exclusión social. En efecto, el riesgo social, es un concepto sobre el cual se ha teorizado para la definición de pobreza y de las herramientas asociadas para su gestión. No obstante, a pesar de que la interacción entre las personas y los ríos en entornos urbanos podrían estar asociada a estos procesos (Espriella, 2007), esto no es objeto de este estudio.

Por el contrario, se definen los riesgos en función de circunstancias que podrían considerarse más superficiales y de corto plazo. Como se observa en la Tableau 17, pueden dividirse estas circunstancias, en las que llamaremos fortuitas, asociadas a circunstancias que ponen en peligro

la integridad física/sanitaria de las personas, y las sociales, relacionadas a una percepción de inseguridad.

Tableau 17. Ejemplos utilizados en este estudio para la percepción de los riesgos asociados al río
Liberia.

<ul style="list-style-type: none"> Fortuitas <ul style="list-style-type: none"> accidentes, caídas, ahogamientos enfermedades transmitidas por el agua, gastrointestinales, infecciones cutáneas enfermedades transmitidas por <i>Aedes aegyptii</i>: dengue, chicungunya y zika Sociales <ul style="list-style-type: none"> ser sujeta/o de asalto o de violencia estar expuesta/o a actividades ilícitas relacionadas con drogas amenaza de ataques o violencia sexual
--

Entre los peligros fortuitos, las enfermedades transmitidas por mosquitos son, para ambas poblaciones, el riesgo más intensamente asociado al río (Figure 53). Esto lo podemos inferir a partir de las medias de 9 y 10 respectivamente en habitantes y actores económicos, así como por los cortos intervalos intercuartiles.

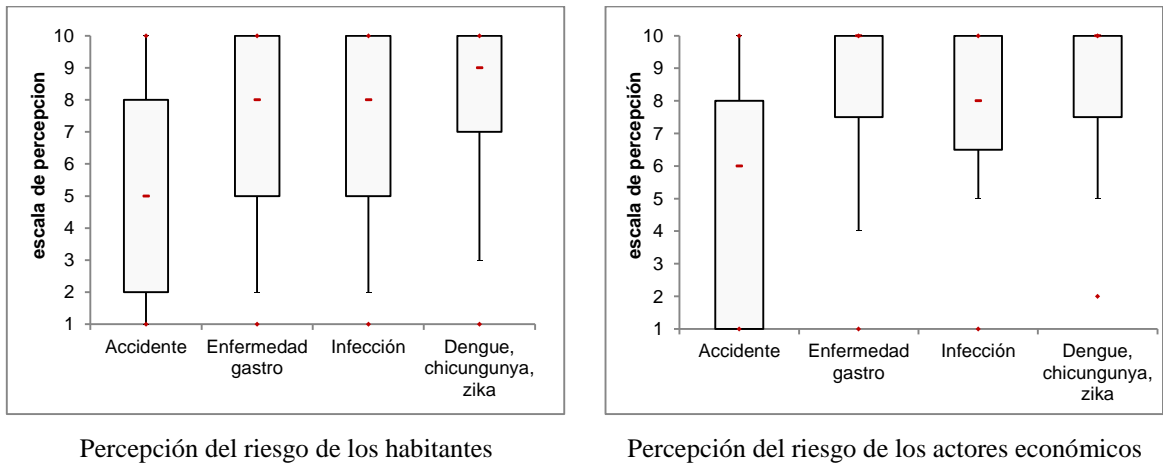


Figure 53. Percepción del nivel de riesgo no social de los habitantes y de los actores económicos frente a accidentes, enfermedades gastrointestinales, infecciones cutáneas y enfermedades transmitidas por el vector *Aedes aegyptii*.

Más que los accidentes, las enfermedades o infecciones son de mayor importancia en cuanto al riesgo percibido en ambas poblaciones presentando medias superiores a ocho en una escala del

uno al diez. Las enfermedades gastrointestinales y las infecciones cutáneas son percibidas como un importante riesgo. Sin embargo, el nivel de riesgo percibido en accidentes es relativamente bajo (medias de 5 y 6 respectivamente) en habitantes y actores económicos al tiempo que se observan calificaciones distribuidas en todo el espectro de evaluación.

La percepción de inseguridad ligada al río se presenta con mayor intensidad que los peligros anteriores (Figure 54). Se presentan medias de 9 y 8 en las respuestas de los habitantes y actores económicos encuestados sobre los peligros asociados a drogas. Esto es sobre todo significativo en el caso de los habitantes donde además observamos que la mitad de la población valora este riesgo entre 7 y 10. Los asaltos son también sensiblemente percibidos por una proporción de la población al presentarse medias de 8 en ambas poblaciones.

Sin embargo, la violencia de naturaleza sexual no es similarmente percibida. En efecto este fenómeno es más variable y menos importante en términos del peligro percibido. Se constatan medias de intensidad de 6 y 5, pero con amplitudes intercuartiles de 2 a 8 en el caso de los habitantes y de 0 a 8 en los actores económicos.

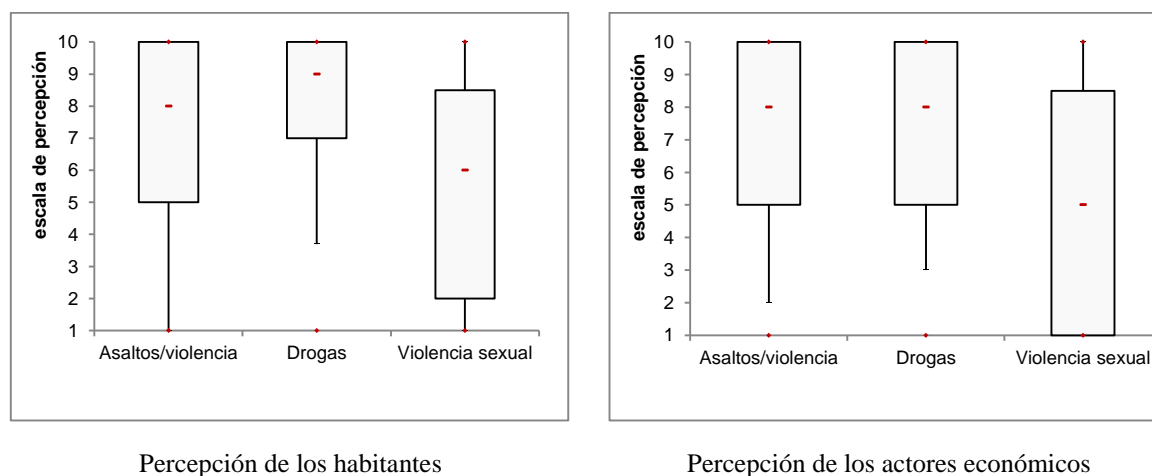


Figure 54. Percepción del nivel de riesgo social de los habitantes y de los actores económicos frente a asaltos y violencia, asuntos relacionados a la venta y consumo de drogas, y violencia de naturaleza sexual.

En consonancia con el comportamiento de la percepción general del estado del río, especialmente negativa para los actores económicos, los elementos de la percepción sensorial evaluados (visual y olor) son calificados más negativamente por esta población (Figure 55).

No obstante, en ambas poblaciones, los elementos son severamente calificados. Se observa por las diferencias entre las calificaciones “mal” o “muy mal”, que en ambas poblaciones el estado visual es más severamente calificado que el olor.

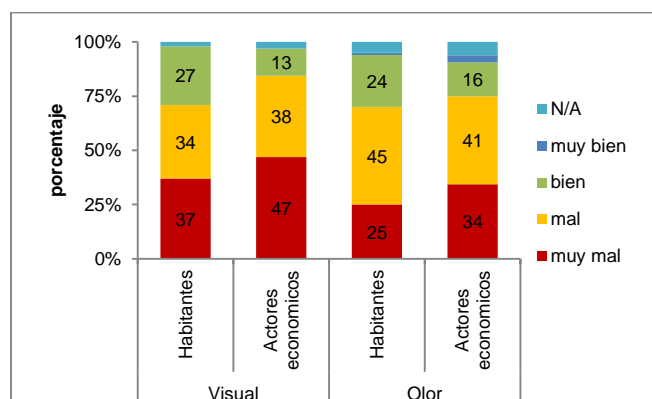


Figure 55. Percepción sensorial (visual y olor) de los habitantes y de los actores económicos.

El caso de la cobertura vegetal salva la percepción general del río (Figure 56) en tanto es valorada por la población habitante bien o muy bien en un 70 % y 38 % de los actores económicos que la considera bien. Empero, de los distintos elementos evaluados (visual, olor, desechos sólidos y cobertura vegetal), los desechos sólidos son el más severamente calificado de todos. Los habitantes, tienen menor sensibilidad aparente ante esta problemática que los actores económicos.

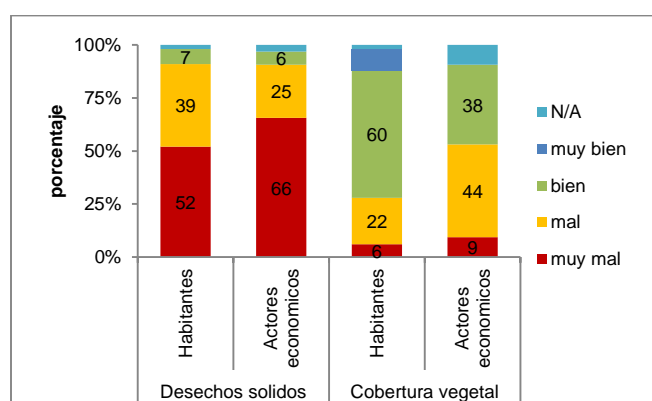


Figure 56. Percepción de los elementos específicos del contexto urbano (desechos sólidos y cobertura vegetal) de los habitantes y de los actores económicos.

La definición de la calidad del agua es en sí misma una concepción compleja que implica la integración de parámetros organolépticos, así como parámetros estrictamente biológicos.

Finalmente, entre estas consultas de percepción se consultó en general una apreciación integradora de la calidad del agua en general (Figure 57). Obtuvimos 46 % y 63 % en percepción muy mala sobre la calidad del agua en las poblaciones encuestadas en ambos objetos de estudio respectivamente. Los habitantes y actores económicos (90 % y 84 % respectivamente) la califican de mala o muy mala, siendo marginal el porcentaje de personas que la califique positivamente.

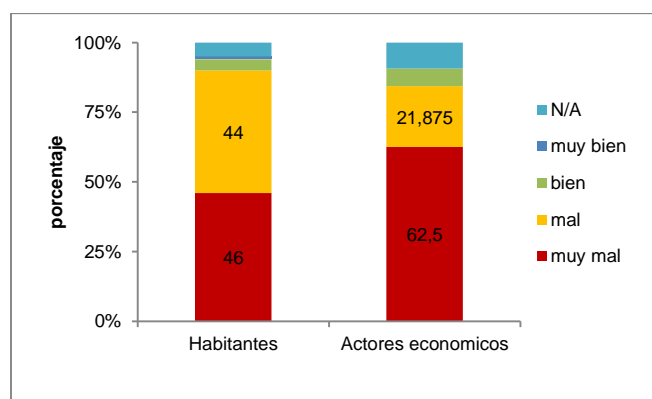


Figure 57. Respuestas de percepción obtenidas sobre la calidad del agua del río Liberia y sus quebradas en ambos objetos de estudio muestreados.

4.2.3. Una cercanía de tránsito, otra de trabajo voluntario

Para conocer la cercanía física de las poblaciones con el cuerpo de agua, se consulta sobre los hábitos de visitación y las razones que las motivan. La primera pregunta efectuada propiamente sobre el río Liberia y sus quebradas es si se visita el río o no (Figure 58). Esta pregunta cerrada presenta dos opciones de respuesta: sí o no. En efecto, no todas las personas dijeron visitarlo, 73 % de los residentes y 38 % de los actores económicos, respondieron afirmativamente.

La población habitante que dice visitar el río, en su mayoría lo frecuenta de una a varias veces por semana (Figure 59). Estas personas interactúan con el río en su cotidianidad, no así, las personas encuestadas en sus espacios de trabajo quienes, a pesar de encontrarse a proximidad del río, dicen visitarlo con tal frecuencia el 22 % de ellos. No obstante, estas personas, excluidas las que nunca visitan el río del todo, en su mayoría (15 %) frecuentan el río al menos de una a varias veces por semana.

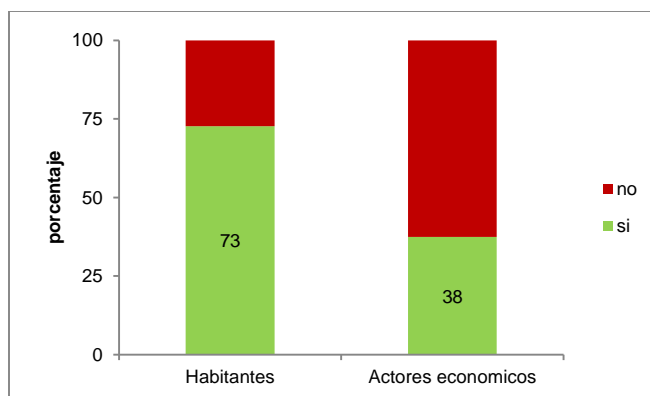


Figure 58. Respuestas obtenidas en ambos objetos de estudio a la pregunta ¿Visita ud. el río o sus quebradas?

Un importante porcentaje de la población habitante dice visitar el río todos los días, de una a varias veces por semana o inclusive de una a varias veces al mes. Los habitantes en general identifican al río en su cotidianidad, no así los actores económicos que por el contrario en su gran mayoría jamás lo visita.

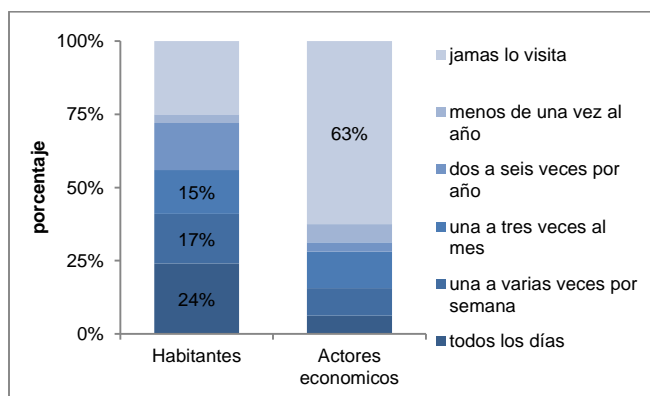


Figure 59. Respuestas a la pregunta: ¿Con qué frecuencia visita el río?

Observamos que existen distintas razones para visitar el río: por recreación, pesca, trabajo comunitario o por tránsito hacia algún destino, sobre todo pasando los puentes (Figure 60). El tránsito y la recreación (54 % y 31 % respectivamente) fueron las principales razones detalladas por la población habitante para visitar el río y sus quebradas. Por el contrario, la razón más importante para visitar el río de los actores económicos (54 %) son las acciones de trabajo comunitario principalmente de limpieza, reforestación y hasta vigilancia. Esto es significativamente inferior al 8 % señalado por los habitantes en este tipo de actividades.

Como se anticipaba, las personas que dijeron visitar el río Liberia con alguna frecuencia detallaron distintos motivos para hacerlo. De las personas que dijeron visitar el río, el tránsito y la recreación (54 % y 31 % respectivamente) fueron las principales razones detalladas por la población habitante. Por tránsito se comprende de acuerdo con las respuestas que pasan por el río y/o sus quebradas de camino hacia el trabajo o para realizar una visita a algún familiar o conocido. Así mismo un 8 % dijeron realizar acciones de trabajo comunitario principalmente de limpieza, reforestación y hasta vigilancia. Este fue el rubro más importante entre los actores económicos que dijeron visitar el río siendo el 54 % de las razones para visitar el río Liberia y/o sus quebradas. En esta población le siguen la recreación y el tránsito con 31 % y 15 % respectivamente.

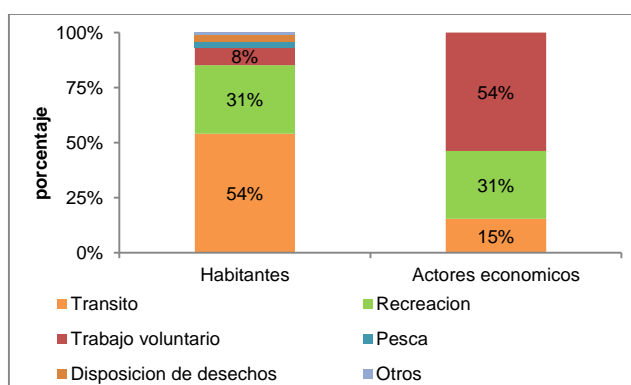


Figure 60. Respuestas a la pregunta: ¿Para qué va -o ha ido- ud. al río?

4.3. Percepción del estado del hidrosistema según las características socioeconómicas de los habitantes

4.3.1. ¿Cómo se comporta la percepción en función del sexo y de la edad?

En relación con la variable del sexo, hombres y mujeres tienen una percepción predominantemente negativa (Figure 61). Las categorías que van de sucio a peligroso agrupan 73,3 % y 76,9 % de las percepciones de las mujeres y de los hombres respectivamente. Se observa que una mayor proporción de las mujeres realizan la observación “sucio y peligroso”, aunque 25,6 % de los hombres lo señalan peligroso. De este grupo pocas calificaron el río sano o muy sano. Inclusive, la valoración “sano y sucio”, indica una percepción de una degradación siendo sano, en la parte alta, y sucio, en la parte baja o urbana. Por último, puede discutirse esa

percepción “regular”, que en español puede con frecuencia tener una connotación negativa. Las percepciones son similares entre los dos sexos:

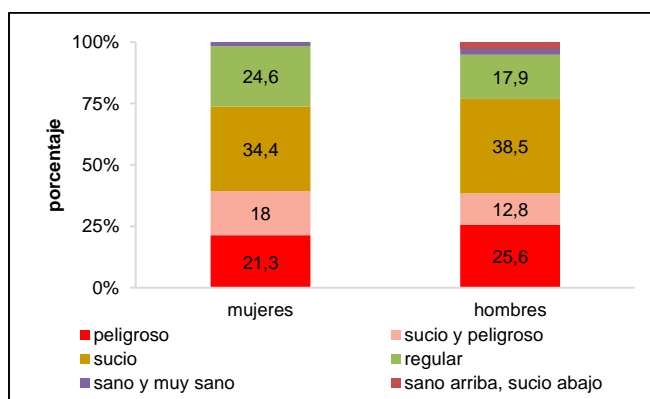


Figure 61. Percepción del estado general del río según el sexo de los encuestados.

Solamente personas entre veinte y cuarenta años y mayores de sesenta años califican el río de sano o muy sano (Figure 62). Los menores de veinte años presentan la menor percepción del peligro de todos los grupos etarios y lo perciben principalmente sucio y regular (77,7 %). Entre los veinte y cuarenta años aumenta la percepción del peligro y de la combinación entre sucio y peligroso. La proporción de percepciones regulares sigue siendo elevada en este grupo etario y disminuirá en los grupos de mayor edad. Ninguna persona de entre cuarenta y uno y sesenta considera el estado del río de sano o muy sano, estas personas lo consideran principalmente sucio (40 %). Finalmente, los mayores de sesenta años, a pesar de presentar personas que califican el río de sano y muy sano, este grupo tienen una importante percepción del peligro. En efecto, en este grupo la combinación de sucio y peligroso es la mayor de los grupos evaluados alcanzando el 47,6 % de las percepciones en personas mayores de sesenta años.

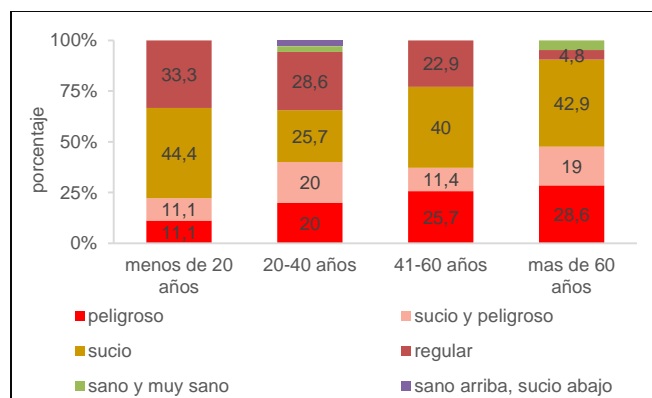


Figure 62. Percepción del estado general del río según el grupo etario de los encuestados.

4.3.2. ¿Cómo se comporta la percepción en función del nivel escolar?

Las personas sin instrucción lo consideran sucio en su totalidad (Figure 63). Las personas con primaria incompleta y con una formación técnica no presentan percepciones regulares ni sanas o muy sanas. Estos últimos y los que tienen una formación universitaria son los que proporcionalmente presentan las mayores percepciones del río como espacio estrictamente peligroso. También son los que tienen una formación universitaria los que llegan a considerar al río sano o muy sano. No obstante, de estas observaciones están limitadas por el bajo número de personas encuestadas indicando un bajo nivel de instrucción (dos, sin instrucción y cuatro con la primaria incompleta), así como los que registraron una formación técnica (solo 3).

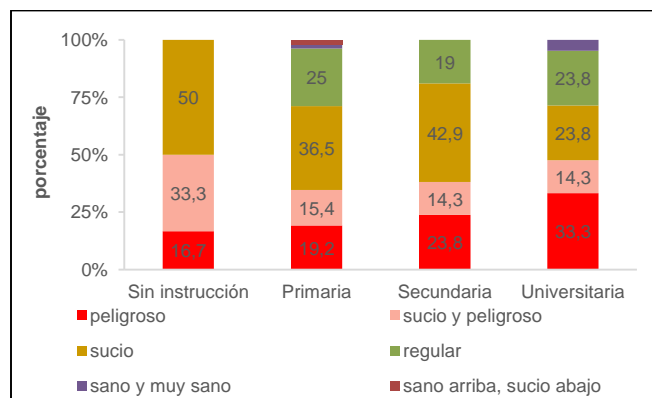


Figure 63. Percepción del estado general del río según el nivel escolar etario de los encuestados.

4.3.3. ¿Cómo se comporta la percepción en función del oficio u ocupación?

Al realizar el análisis por tipo de oficio identificado en la población, se corre el riesgo de tener grupos y percepciones sub representadas dado que son muchos grupos que presentan bajo nivel de efectivos encuestados. En los grupos amas de hogar y pensionados, los cuales están fuertemente representados en la encuesta, se identifican las percepciones de un río sano o muy sano (Figure 64). Los pensionados, sin embargo, los consideran sucio y peligroso tal y como se observó en el análisis de grupos etarios. Los trabajadores agrícolas, conserjes y empleados domésticos tienen una percepción de un río más bien regular, sucio, y regular, sucio y peligroso. Las personas que trabajan en el sector educativo, los profesionales liberales y los que trabajan en comercio y ventas tienen proporcionalmente una mayor percepción del río peligroso que el resto de los grupos observados.

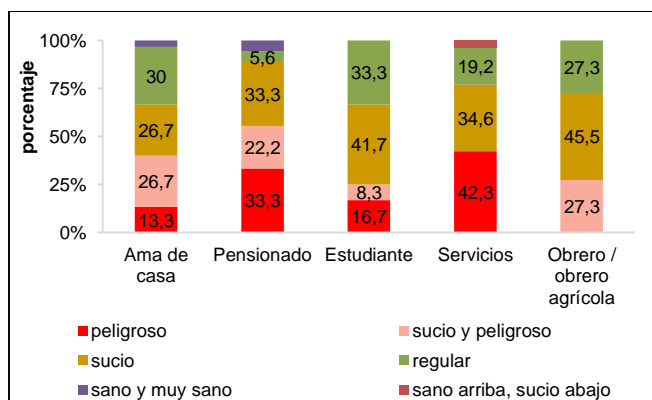


Figure 64. Percepción del estado general del río según el nivel escolar etario de los encuestados.

4.4. La percepción contrastada por la cercanía

Esta sección se desarrolla en dos etapas en las que primero se realiza un análisis descriptivo de la percepción del estado según el nivel y el motivo de la visitación para en seguida presentar la cartografía de la degradación percibida y de la visitación. Se culmina con el análisis combinado de la visitación y la degradación percibida.

¿Cómo varía la percepción entre las personas que sí visitan el río y los que no? Para responder a esta pregunta los habitantes son representativos de toda la población encuestada. Entre los habitantes que visitan el río se encuentran los que lo consideran sano o muy sano y en 23,4 % lo consideran en estado regular (Figure 65). Las personas que dicen jamás visitar el río Liberia tienen una percepción más negativa del estado general del río (48,1 % lo consideran sucio y

estrictamente peligroso lo consideran 29,6 %) que las personas que lo visitan (31,9 % y 19,1 %). 20,8% de los que visitan el río lo consideran sucio y peligroso.

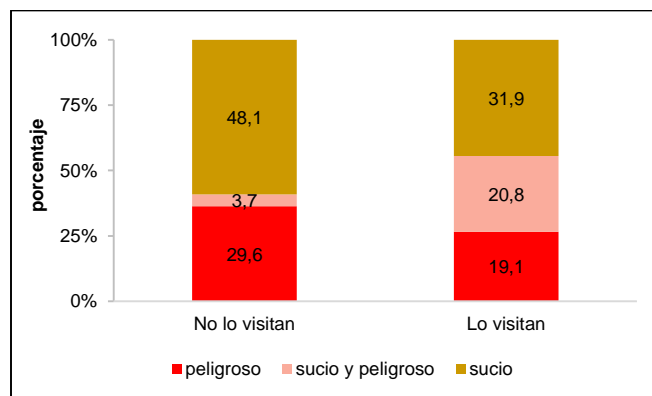


Figure 65. Estado general del río según los habitantes que visitan el río y los que no.

4.4.1. Percepción del estado del hidrosistema según el nivel de visitación de los habitantes

¿Varía la percepción de la condición ecológica del río Liberia y sus quebradas en función de la frecuencia con que se visita? Al dividirse los niveles de visitación en tres: cotidiana, ocasional y rara, se observa (Figure 66) que los que visitan raramente el río tienen una percepción similar a los que no la frecuentan del todo.

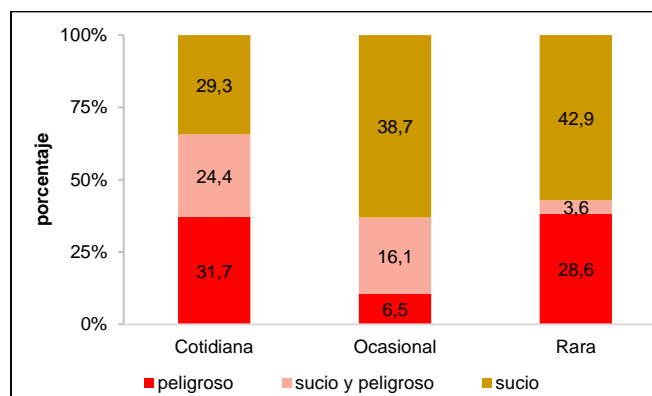


Figure 66. Percepción del estado general del río según el nivel de visitación de los habitantes.

Los que lo visitan de manera cotidiana tienen una alta percepción del peligro, sobre todo, pero también tienen una alta percepción de suciedad del río. Los que lo visitan ocasionalmente lo

perciben principalmente sucio, pero ellos son también son los que lo perciben sano y muy sano, o sano y sucio.

4.4.2. Percepción del estado del hidrosistema según el motivo de la visita de los habitantes

La mayor parte de las personas visitan el río por razones de tránsito, esencialmente por los puentes de la zona urbana. Estas personas tienen una percepción negativa del río en su mayoría, lo califican como sucio. Así mismo, tienen este grupo de personas califica el río con alta frecuencia de peligroso (Figure 67).

De los cuatro grupos predominantes de los motivos de visita al río, el que tiene la percepción menos desfavorable es la que va por recreación: 14,3 % de este grupo lo considera sano y muy sano. Además, tienen el nivel más bajo de una percepción del río como espacio peligroso (7,1 %) no obstante lo anterior, gran parte de este subgrupo (un 42,9 %) lo considera sucio.

De los cuatro grupos el que lo considera con mayor frecuencia sucio, son los que visitan el río con el fin de realizar actividades benévolas como la siembra de árboles, recoger basura, vigilar, entre otros, con un 50 % de las causas señaladas de visita. El resto de este grupo lo considera en partes iguales regular y peligroso. De hecho, este grupo es uno de los más sensibles al peligro.

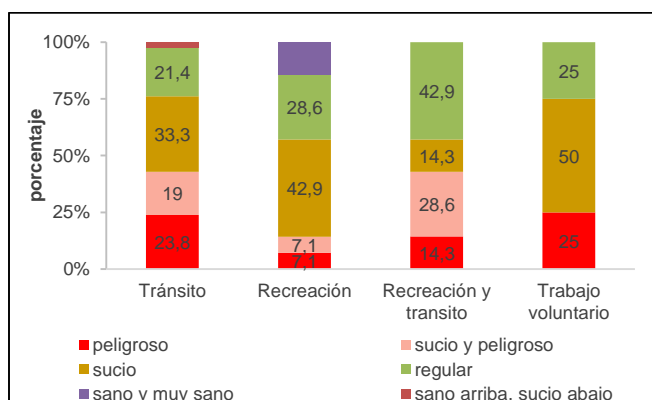


Figure 67. Percepción del estado general del río según el motivo de visita de los encuestados.

4.5. Descripción geográfica de la percepción de la degradación y de la visita

Esta sección presenta en primer lugar las cartografías de las dos variables principales analizadas, esto es la localización de los puntos sobre el cauce del río y sus quebradas que son

percibidos como altamente degradados y la de los niveles de visitación. Estas dos variables permiten identificar puntos que son relevantes para comprender la relación de los usuarios del recurso y puede generar nueva información a ser tomada en cuenta en el dos momentos: en el desarrollo de actividades de muestro y, en la comprensión del estado y las presiones del hidrosistema estudiadas en el capítulo III.

4.5.1. Cartografía de los puntos percibidos altamente degradados

A cada persona encuestada se le pidió que mencionaran dos sitios donde el río y sus quebradas estuvieran mayormente afectados por la contaminación. En el sistema hidrográfico del río Liberia los habitantes mencionaron: 24 puntos, 22 transectos y 10 áreas. Estos permiten la localización de 27 puntos a lo largo del área de muestreo, correspondientes a un total de 341 menciones. Las referencias se ubican desde Santa María hasta barrio El Capulín no obstante se encuentran especialmente concentradas en zona urbana. De estos puntos, 16 están sobre el río Liberia, 5 se encuentran a lo largo de la quebrada Los Piches, 5 en la quebrada Panteón y 1 en la quebrada Carreta (Figure 68).

Los puentes son espacios donde se percibe especialmente la degradación. El río Liberia concentra en su zona urbana las ocurrencias de sitios indicados como especialmente degradados particularmente en los puntos: puentes La Chorotega, La Victoria, Real, Interamericana y La Arrocería. No obstante, también se destacan el puente Felipe Pérez, Condega y puente Colegio Laboratorio. Fuera de la zona urbana, los habitantes han señalado con frecuencia Los Mangos-Saca de Agua y el Vertedero Municipal. Estos lugares están además en la periferia de la ciudad por lo que su degradación implica una ampliación del efecto de degradación aguas arriba de la zona urbana. Sobre las quebradas se destacan los puntos en plena zona urbana residencial de alta densidad. Sobre la Panteón se destacan los puentes La Rotonda y Panteón, y sobre la Piches, los puentes San Roque e IMAS-Corazón de Jesús.

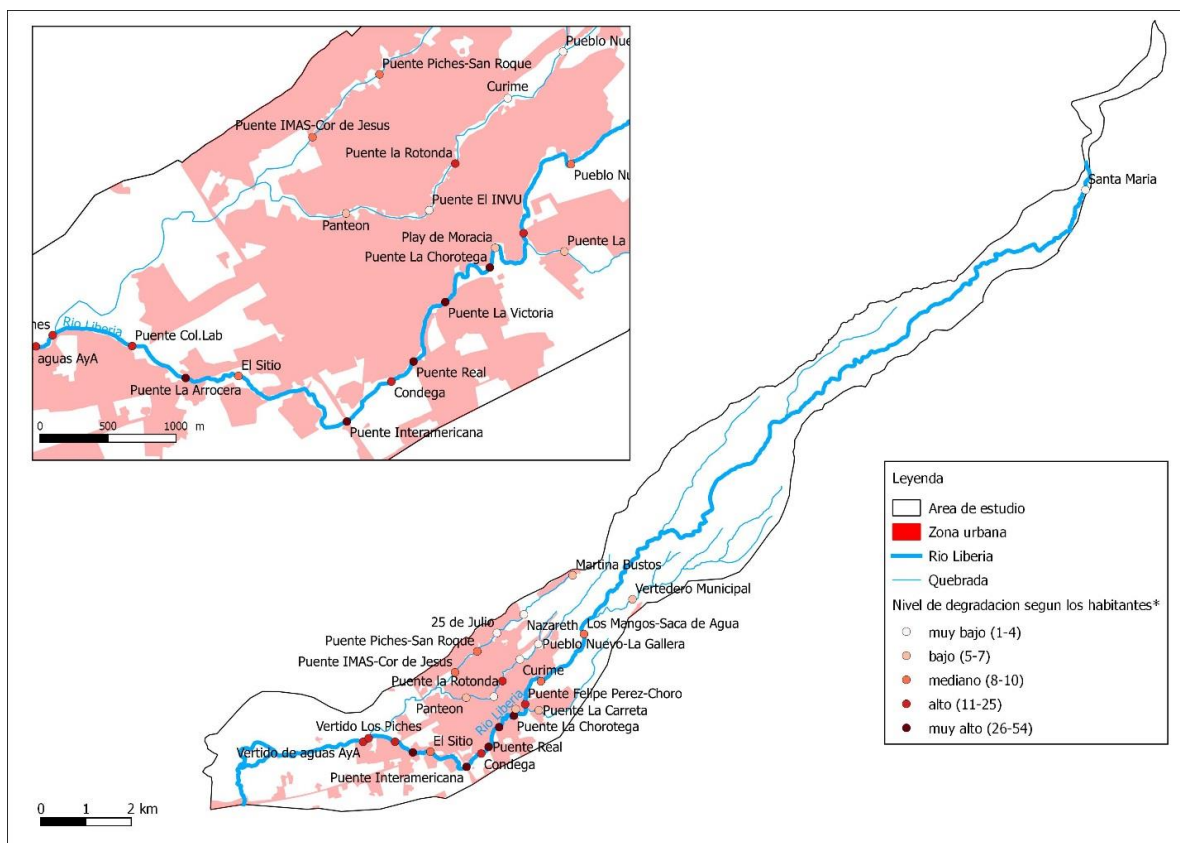


Figure 68. Cartografía de los puntos localizados degradación según la percepción de los habitantes.

4.5.2. Cartografía de los puntos de visitación

Los habitantes indican 29 puntos, 3 transectos y 6 áreas sobre el río Liberia el río y sus quebradas. Estas menciones llevan a la localización de 24 puntos (Figure 69) a lo largo del área de muestreo, correspondientes a un total de 239 menciones. Localizamos estas referencias principalmente sobre el río Liberia (15 puntos), desde la parte alta de la cuenca (El Chorro-San Jorge) hasta la parte baja. No obstante 4 puntos se encuentran sobre la quebrada Los Piches y 4 en la quebrada Panteón y uno en la quebrada Carreta. Espacios que podrían asociarse al esparcimiento fueron mencionados por los habitantes, no obstante, la mayoría de las personas indicaron sitios por los que transitan en zona urbana. Esto se observa por la alta recurrencia del puente como elemento funcional. En efecto, los puentes Real, La Victoria y La Arrocera son los puntos más altamente mencionados por los habitantes. Los Cerros y Poza Los Mangos-Saca de Agua, son sitios altamente visitados por los habitantes.

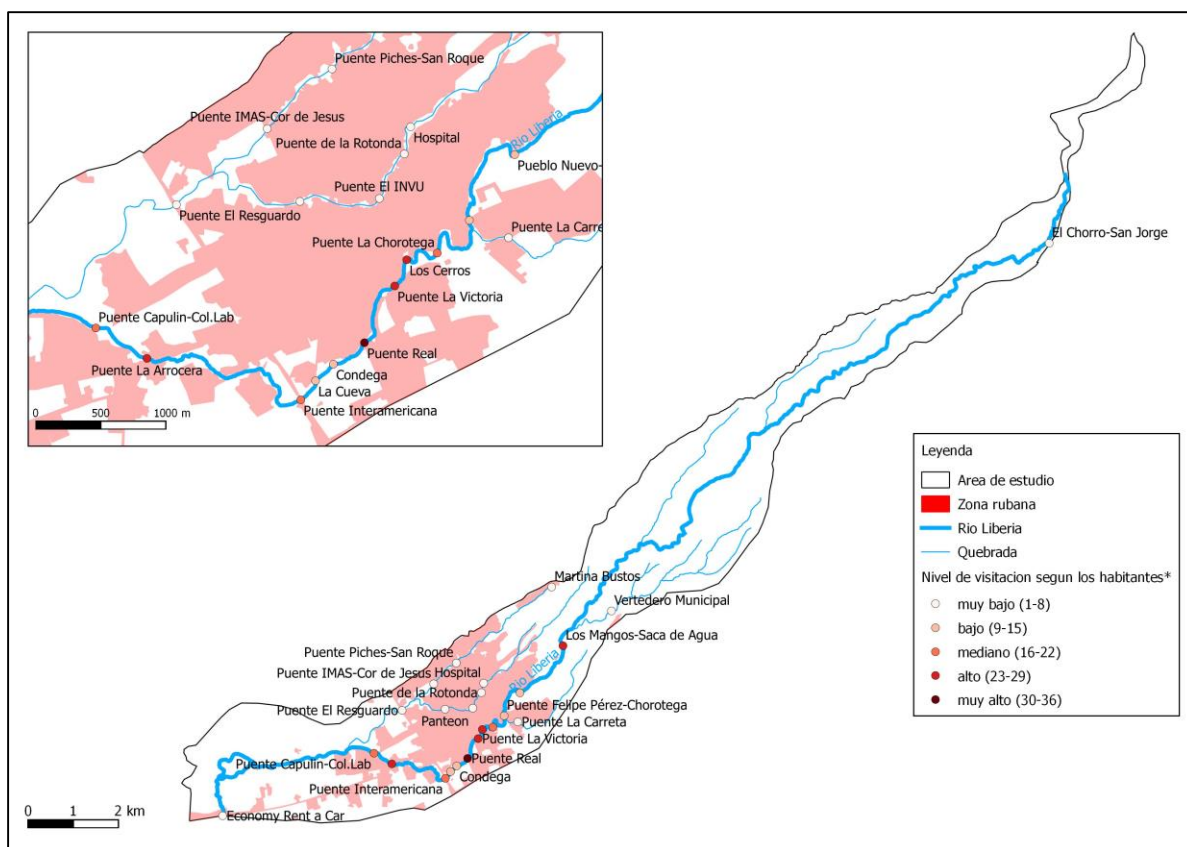


Figure 69. Cartografía de los puntos localizados de visitación en función de la ocurrencia calculada en la percepción de los habitantes.

Observamos el eje que atraviesa el centro histórico de la Ciudad entre barrio La Victoria y El Capulín. En este sector se concentra actividad residencial y comercial de Liberia. Así mismo, aunque en menor medida, fueron identificados puntos sobre las quebradas. Por su parte, los actores económicos mencionaron 2 puntos, 6 transectos y 2 áreas que llevaron a la localización de 10 puntos georreferenciados, correspondientes a 14 menciones principalmente localizadas en ambas quebradas del área urbana de la ciudad de Liberia. De estos puntos, 6 se encuentran en el río Liberia, 3 en la quebrada Panteón y 1 en la quebrada Piches.

4.5.3. Relación entre la visitación y los puntos indicados como altamente degradados.

La geográfica de la visitación y de la degradación percibida sigue un patrón espacial. En efecto, se observa un gradiente en los niveles de visitación y de degradación percibida que aumentan aguas abajo. Se configuran cinco secciones: La parte alta, del denominado el chorro hasta barrio Moracia (1), la parte urbana central, de barrio Chorotega a Puente Real (2) y barrio Condega hasta el puente sobre la Interamericana RN 1 (3). De este puente hasta barrio El Capulín (4) y finalmente de barrio El Capulín en dirección aguas abajo hasta el final del hidrosistema del área de estudio (5) (Figure 70).

Así mismo, puede hacerse una lectura de acuerdo con los tipos de elementos mencionados de entre los cuales tenemos: puentes, vertidos de aguas residuales, límites de barrios y otros sitios ligados a usos comunales tales como salones comunales, plazas, entre otros.

Al representarse el nivel de visitación y de degradación de los puntos indicados por los habitantes, se crean diferentes agrupaciones. Los puntos más importantes son los sitios de alta visitación y considerados con alta frecuencia como muy degradados se encuentran en la parte urbana de la cuenca. Estos son esencialmente puentes que se encuentran sobre el río Liberia siendo el puente Real el más importante de todos. Enseguida, quedan evidenciados ciertos espacios que las personas dicen no visitar y que consideran como de importancia en términos de degradación. En esta categoría está el vertido de la planta de tratamiento del AyA (barrio el Capulín). Al contrario, se encuentran ciertos puntos que, aunque pueden presentar un bajo nivel mencionado de degradación son altamente visitados como la Poza Los Mangos-Saca de Agua.

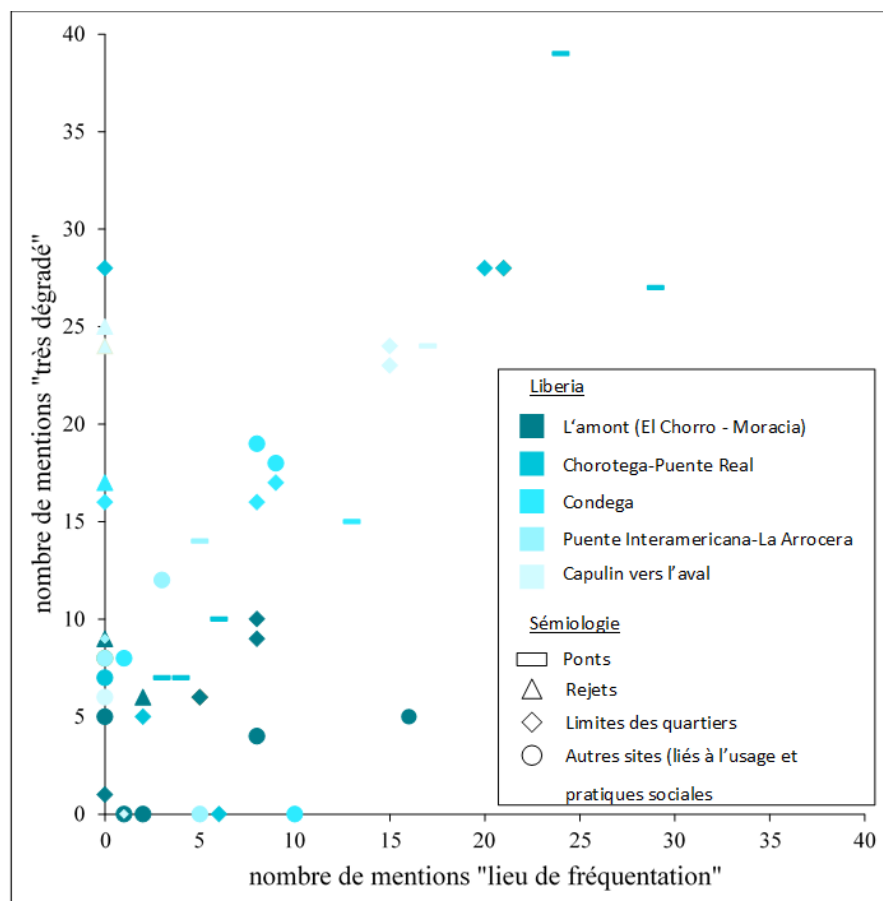


Figure 70. Nivel de visitación y de degradación de los puntos indicados por los habitantes.

4.6. Lecciones aprendidas

La encuesta aplicada entre julio y septiembre del 2016 a los habitantes y los actores económicos ribereños fue utilizada para caracterizar percepción y cercanía de los usuarios como indicativas de la relación que tienen las personas con el hidrosistema. Las 100 encuestas realizadas por medio del muestreo estratificado distribuido proporcionalmente en función de la población de cada barrio tienen una representatividad limitada de la percepción de las poblaciones estudiadas. De los habitantes, son representados sobre todo personas de bajo nivel de escolaridad, principalmente por amas de casa, pensionados y estudiantes. Por su parte el censo realizado de actores económicos ribereños, esto es de los 32 actores económicos ribereños, se dedican principalmente a servicios de bajo impacto, aunque también participaron pequeñas o medianas actividades industriales que generan potencialmente mayores impactos ambientales. En perspectivas se plantea profundizar en la construcción de perfiles prototipo de la población de

cara a la problemática e identificar por medio de análisis estadísticos si las poblaciones correspondientes a dichos perfiles reaccionan de la misma manera. También se deben caracterizar los mecanismos que llevan a los actores económicos a participar en los procesos de control y restauración: ¿posicionamiento y promoción social, responsabilidad social corporativa, otros incentivos económicos?

Se partió de la hipótesis de que el estudio de la percepción del estado del hidrosistema y de los hábitos de visitación son indicativos de la relación que tienen las personas con el cuerpo de agua. La principal conclusión que se deduce del conocimiento generado en este estudio es que existe una débil relación de los usuarios – tanto habitantes y actores económicos - con el río Liberia y sus quebradas. Existe un importante consenso entre los usuarios del hidrosistema en que este, no solo es un lugar sucio, sino peligroso. Se percibe especialmente un peligro de naturaleza social, ligado a asaltos, violencia y actividades vinculadas al tráfico de drogas. Aunado a esto, se asocia el río a enfermedades transmitidas por mosquitos *Aedes aegyptii* frecuentemente vinculadas a la inadecuada gestión de desechos sólidos. De hecho, estos son considerados como un importante problema.

A pesar de la predominante percepción negativa, es importante destacar que la percepción del estado del río Liberia y sus quebradas se rescata, en ambas poblaciones por una percepción más favorable del estado de la cobertura boscosa que acompaña el hidrosistema en las áreas de protección.

Los hábitos de visitación presentan importantes particularidades entre habitantes y actores económicos siendo, para los primeros especialmente el tránsito, el que explica su cercanía con el río. Por su parte, para los actores económicos encuestados se destaca el trabajo voluntario como la principal razón para visitar el río (esto es en campañas de limpieza, siembra de árboles, actividades de sensibilización). En consecuencia, se deduce que los habitantes tienen una relación cotidiana con el hidrosistema, mientras los actores económicos van al río especialmente para llevar a cabo acciones que pueden clasificarse como acciones de responsabilidad social.

El enfoque realizado en los habitantes indica que las variables socioeconómicas evaluadas tienen distintos niveles de variabilidad en la explicación de la percepción del hidrosistema. Hombres y mujeres tienen una percepción similar, aunque para los hombres, esta está marcada por una mayor percepción del peligro. Entre los diferentes grupos etarios estudiados la percepción del peligro es más importante conforme aumenta la edad de las personas encuestadas.

La variabilidad dada en los grupos de educación y oficio no permiten ofrecen una clara relación con la percepción de la degradación y la percepción del peligro.

Se desprenden importantes precisiones del estudio de la combinación de la cercanía con la percepción de degradación. Los que transitan y los que realizan trabajo voluntario tienen una mayor percepción de la degradación y del peligro que aquellos que dicen visitar el río por razones de recreación.

El análisis espacial de estas dos variables ha permitido la definición de puntos sensibles en cuanto a la cercanía y a la definición de puntos que son especialmente degradados. Existe un importante nivel de coincidencia entre los puntos que son visitados con aquellos que son indicados como degradados. Estos se concentran principalmente en la zona urbana y en especial sobre el río Liberia. No obstante, importantes puntos tanto de degradación percibida como de visitación son indicados sobre las quebradas.

Es importante destacar el rol de los puentes en esta cercanía y en esta percepción de degradación, y resaltar los puntos que son altamente visitados y no percibidos como degradados como la Saca de Agua.

Resumen: *¿La percepción ambiental de los usuarios es consistente para describir la calidad de agua del río?*

Encuesta de percepción

- Habitantes: muestreo estratificado por barrio
- Actores económicos: censo de los establecimientos localizados a proximidad del río y sus quebradas

Caracterización y comparación de los usuarios

- Una degradación reconocida en forma unánime
- Una percepción un poco más negativa de los actores económicos
- El estado de la vegetación ribereña es percibido en forma positiva por los habitantes

Cartografía de los lugares de interés

- Localización y jerarquización de lugares de interés de visitación y degradación
- Los lugares de interés se ordenan según la organización urbana
 - El centro histórico concentra la mayoría de los puntos
 - Algunos puntos al oeste de la RN1 son muy frecuentemente citados
 - Las quebradas presentan importantes lugares de interés

☺ La percepción del río de los habitantes y de los actores económicos ribereños permite comprender la relación de estos con el río. Ambas poblaciones tienen intereses y mecanismos distintos para relacionarse con el río.

V. Valoriser les décalages entre la qualité de l'eau observée et les perceptions des usagers

Informe sinóptico: Aportes de los desfases entre los conocimientos biofísicos y la percepción de los usuarios

La ciudad de Liberia ofrece en el contexto nacional, la posibilidad de producir conocimiento representativo de las ciudades periféricas de cara a la recurrente problemática de degradación de los cuerpos de agua que las recorren. Las escalas más grandes como la micro-cuenca, son recomendadas para la gestión de los ríos urbanos (Sánchez Molina, 2003; Suárez Serrano et al., 2015). Estas unidades territoriales conllevan una lógica hidrográfica favorable a la gestión sostenible del territorio cuyas acciones pueden tener también un carácter demostrativo. Los cambios efectivos son alcanzados por medio de un trabajo persistente donde la población se integre en los esfuerzos de prevención, control y restauración de los cuerpos de agua alterados. Sin embargo, esto requiere de esfuerzos de educación/sensibilización y compromiso de la población.

Las hipótesis iniciales de esta tesis proponían, a pesar de la regulación vigente en Costa Rica, la falta de conocimientos compartidos, legítimos y pertinentes, al origen de la falta de la puesta en marcha de acciones orientadas al mejoramiento de la condición del río. Era por lo tanto necesario evaluar la apropiación de la población de la problemática. El análisis de la percepción social de la condición ecológica del río Liberia realizado brindó algunos elementos de respuesta.

El ejercicio de monitoreo del río Liberia realizado entre los años 2013 y 2015 puso a prueba los indicadores establecidos en la regulación costarricense. Estos indicadores dan cuenta de las condiciones hidrológicas, presiones naturales y antropogénicas sobre el estado del hidrosistema. El análisis de influencia de las condiciones hidrológicas se realizó por medio de análisis cualitativos de la precipitación anterior. No obstante, con el análisis realizado no se identificaron claramente patrones de influencia hidrológica sobre la calidad del agua.

Los análisis de correlación de Spearmann entre los índices de calidad de agua y de los indicadores de presión permitieron determinar la influencia del uso del suelo (escala global) y de la condición de las áreas ribereñas (escala local) sobre la calidad de agua del río. Así, se

caracterizaron las presiones que impactan la condición ecológica del río, especialmente las propias de la zona urbana de la ciudad de Liberia.

Las encuestas de percepción de los habitantes y actores económicos llevada a cabo en el 2016 levantaron información sobre los conocimientos del sistema hidrográfico, los elementos de flora y fauna asociada, los usos y los hábitos de visitación así como la percepción del estado del río y los diferentes niveles de compromiso de los encuestados. Este nuevo conocimiento muestra un mejor manejo de los elementos naturales del hidrosistema de los habitantes que los actores económicos. Sin embargo, este conocimiento es irregular en ambas poblaciones. Los habitantes, en su mayoría, dicen visitar más y más frecuentemente el río que los actores económicos. La cartografía y el análisis de los puntos de visitación señalan la importancia que tienen los puentes, así como nodos importantes de la zona urbana. Para los habitantes, la principal razón para visitar el río es el tránsito y en menor medida la recreación. Para los actores económicos, la principal razón para visitar el río es la acción social por medio de campañas actualmente convencionales de limpieza y reforestación.

A pesar del hecho de que la mayor parte de los espacios visitados son descritos como espacios degradados, algunos espacios urbanos que las personas visitan son descritos como no degradados. El río, percibido globalmente de manera negativa, es un espacio poco valorado tanto por habitantes como actores económicos. Esto configura el débil empoderamiento, permite explicar parcialmente el proceso continuo de degradación y el insuficiente compromiso institucional para la puesta en marcha de acciones de restauración. Esta restauración podría, no obstante, favorecer el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Este capítulo responde a la hipótesis de que los indicadores de calidad de agua de la regulación costarricense y la percepción socio-ambiental del hidrosistema, son complementarios en la comprensión de los procesos implicados en la dinámica estado-presión. Conocer la posición geográfica de “lugares de interés” de visitación y de degradación según las dos poblaciones encuestadas puede ayudar en la optimización/dirección/orientación de los esfuerzos de monitoreo científico. A mediano plazo, pueden apoyarse diversas modalidades de integración y empoderamiento social.

El procedimiento realizado se detalla en la Figure 71. Se identificó la coherencia entre el monitoreo científico del río Liberia y la percepción de los usuarios, y en seguida se identificaron aportes de la percepción social al programa de monitoreo. Este nuevo conocimiento fue puesto a

prueba en una campaña de monitoreo complementaria ejecutada en el 2017 observando tanto índices de calidad de agua como de calidad de áreas ribereñas.

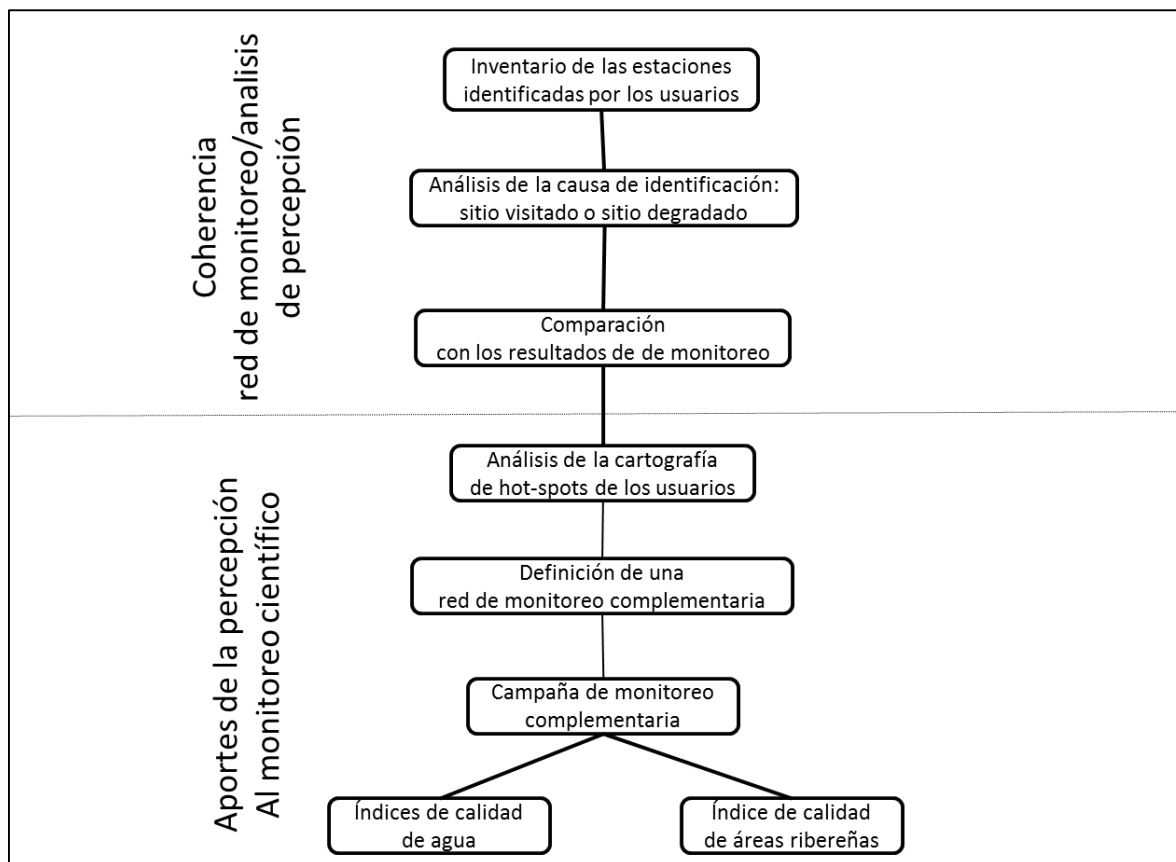


Figure 71. Metodo empleado para responder a la pregunta: la percepción social puede mejorar la evaluación de la calidad del agua.

El análisis consiste en primer lugar, verificar si los puntos de muestreo son efectivamente identificados como lugares de interés por parte de las poblaciones encuestadas. Así, de aguas arriba hacia aguas abajo, el punto S₁-Sm fue señalada por los habitantes por medio del punto denominado “El Chorro”, lugar que indica las obras de canalización cerca de 200 m aguas arriba de la estación. El sitio en la parte alta de la cuenca es poco visitado y no es percibido como degradado. La estación S₂-Ey no fue indicada ni por habitantes ni por actores económicos debido a que esta se encuentra en propiedad privada. Algunos habitantes indicaron precisamente la « Poza Los Mangos » (S₃-Lm), aunque, “Saca de Agua”, como popularmente se conoce el sitio de extracción de agua se encuentra a escasos metros aguas debajo de la estación. Ambas denominaciones pueden entonces ser tomadas en cuenta. Se trata de un lugar utilizado para

recreación y pesca favorecida por el embalse localizado en el lugar. El sitio es altamente visitado. También altamente visitado es el punto S₄-Lc.

Por el contrario, ciertos habitantes indicaron precisamente los puntos S₅-Ec y S₆-Pt en « Vertido Los Piches » y « Vertido de Aguas del AyA » respectivamente, exclusivamente como lugares degradados. Finalmente, el último punto de muestreo fue señalado por los habitantes refiriéndose a un paso realizado a alta velocidad sobre la carretera.

Las encuestas permitieron la definición de 30 lugares de interés localizados en la zona urbana, y dispersados a lo largo del río, especialmente en el centro histórico de la ciudad y en las inmediaciones del barrio El Capulín. No obstante, también se obtuvieron múltiples indicaciones sobre las quebradas principalmente, Danta, Carreta, Panteón y Piches.

Esta información fue utilizada para definir la localización de cinco nuevos puntos de muestreo que permitieran detallar la zona urbana y los afluentes principales Piches y Panteón. Sobre el río Liberia, se definió un punto aguas abajo de terreno protegido previo al paso por barrio Felipe Pérez, otro sobre los puntos con el más alto número de citaciones (Puente Real) y un último previo al ingreso del río al barrio Capulín, sobre el puente denominado La Arrocería. Sobre la quebrada Panteón se seleccionó el punto más abajo indicado por los encuestados (puente Panteón) y sobre la quebrada Piches, el punto más abajo con el mayor número de indicaciones sobre el Puente IMAS-Corazón de Jesús.

Una campaña de muestreo (Figure 72) pudo ser realizada el 24 de octubre del 2017 en condiciones hidrológicas tipo H₂. Se realizaron muestreo únicamente sobre las nuevas estaciones para el monitoreo del PQI'CR y del FCC'CR. El primer indicador presentó condiciones de contaminación incipiente, dado un posible efecto de dilución. En cambio la presencia de coliformes fue muy alta. Constatamos una coherencia entre la degradación percibida por los usuarios y las observaciones obtenidas en el monitoreo permanente.

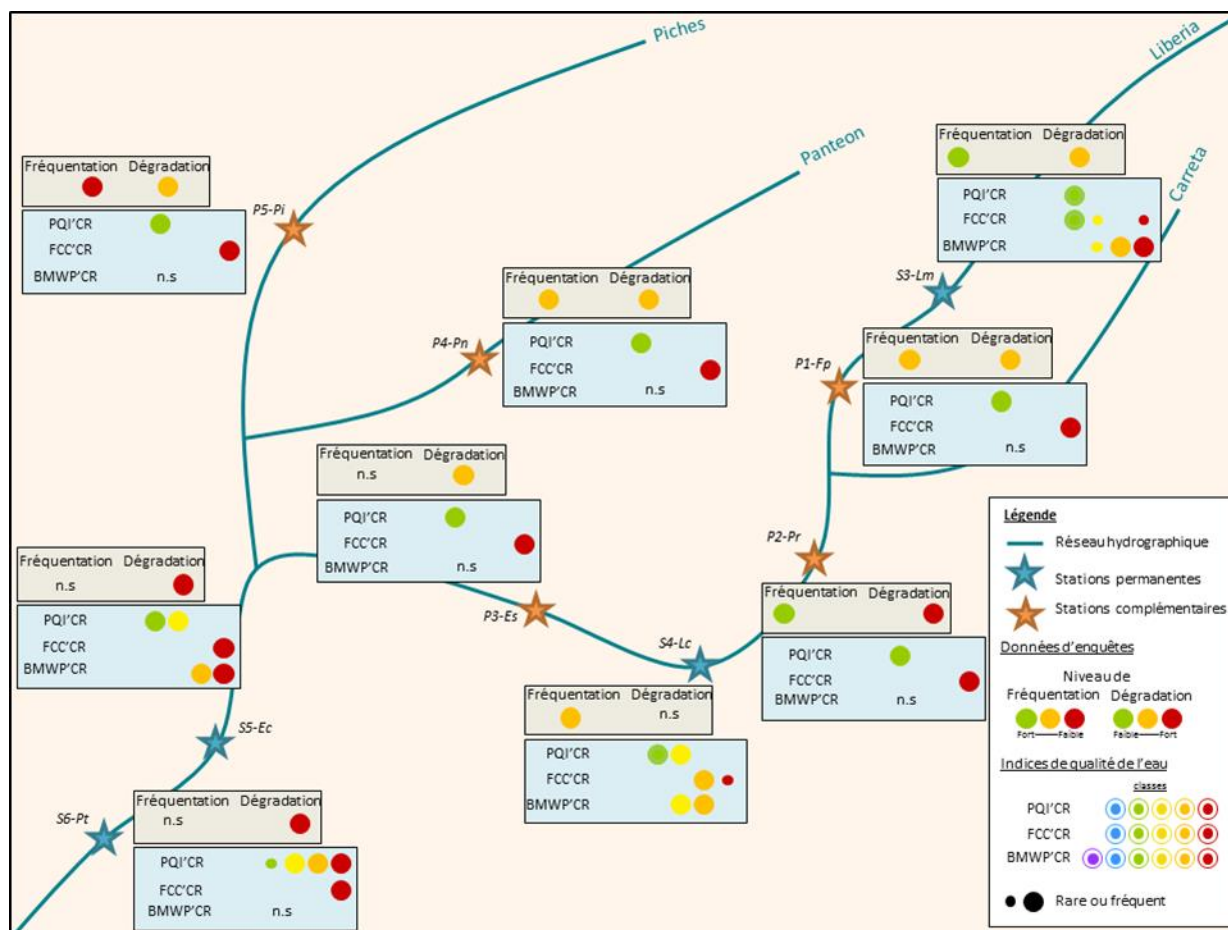


Figure 72. Esquema de la calidad de agua del río Liberia y sus quebradas según las observaciones del 24 de octubre del 2017.

Una segunda campaña (Figure 73) para evaluar la condición de las áreas ribereñas fue realizada entre octubre y noviembre de 2017 sobre las cinco estaciones complementarias. Sobre el río Liberia se observa una buena condición de las áreas ribereñas en la sección previa a la ciudad, no obstante, enseguida los resultados son heterogéneos. Sobre las quebradas se encontraron las condiciones más degradadas de las áreas ribereñas incluso tomando en cuenta las observaciones realizadas sobre la totalidad de los puntos de muestreos, destacando la importancia de las presiones que sufren estos cauces.

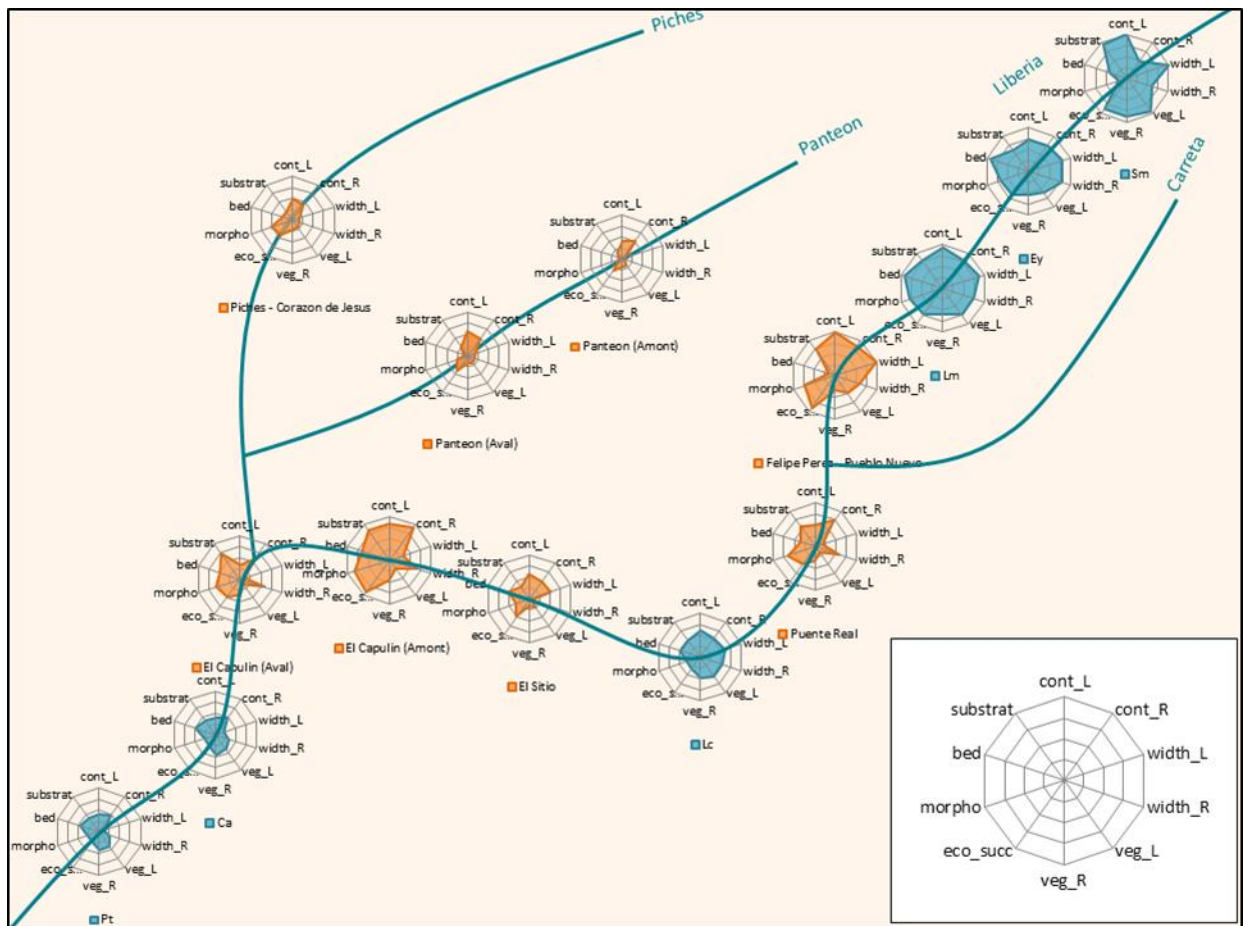


Figure 73. Esquema de la calidad de de las áreas ribereñas del río Liberia y sus quebradas según las observaciones entre octubre y noviembre del 2017.

En conclusión, sobre el análisis de coherencia entre el monitoreo y los lugares de interés observamos que las estaciones en medio urbano son efectivamente identificadas y que existe una coherencia entre la degradación percibida tanto por los usuarios como por el monitoreo de calidad de agua. Así mismo, la cartografía de los lugares de interés permitió densificar la red de monitoreo afinando el conocimiento sobre la variabilidad espacial, en particular de las condiciones de las áreas ribereñas. Se observa que las condiciones hidrológicas muy húmedas pueden explicar con comportamientos homogéneos en las estaciones complementarias. Por último, las quebradas hasta la fecha, no monitoreadas, muestran un importante nivel de degradación tanto de la calidad del agua como de la condición de las áreas ribereñas, destacando la importancia de estos cauces en el programa de monitoreo.

5.1 Bilan de la mesure et de la perception de la qualité de l'eau

Les efforts de surveillance de la qualité de l'eau du Liberia menés pendant les années 2013 à 2015 ont permis de mettre à l'épreuve les indicateurs définis dans la réglementation environnementale du Costa Rica. Ces indicateurs rendent effectivement compte des conditions hydrologiques, des pressions naturelles et anthropiques sur l'état écologique du cours d'eau. Pour l'analyse de l'influence des conditions hydrologiques, des analyses graphiques ont été utilisées. Avec l'effectif disponible des indices, les effets saisonniers ont du mal à exprimer clairement des influences.

Les analyses de corrélation de Spearmann entre les indices de qualité de l'eau et des indicateurs de pression ont permis de déterminer l'influence de l'occupation du sol (échelle globale) et de la condition de la ripisylve (échelle locale) sur la qualité de l'eau du cours d'eau. Nous avons ainsi caractérisé de façon précise les pressions qui impactent la condition écologique de la rivière Liberia, en signalant tout particulièrement l'influence de la zone urbaine de la ville de Liberia.

Cette ville offre dans le contexte national du Costa Rica, la possibilité de produire une connaissance représentative des villes périphériques (Sanchez, 2017) particulièrement face à la problématique récurrente de dégradation des cours d'eau. En effet, les villes périphériques de la GAM ont tendance à reproduire le modèle d'expansion de la vallée centrale. Ainsi se reproduisent à Liberia les processus de dégradation des cours d'eau qui la traversent.

Dans ce contexte, de plus grandes échelles comme celle du micro-bassin, sont conseillées pour la gestion des rivières urbaines (Sánchez Molina, 2003; Suárez Serrano et al., 2015). Ces unités territoriales plus petites comportent une logique hydrographique favorable à la mise en œuvre d'une gestion du territoire dont les actions auraient aussi un caractère démonstratif. Les changements effectifs sont atteints par un travail persistant où la population s'intègre dans les efforts de prévention, de contrôle et de restauration des cours d'eau altérés. Cependant ceci requière la diffusion de connaissances et l'engagement de la population.

Les hypothèses initiales de cette thèse signalaient, en dépit de la législation et des règlements existants, le manque de connaissance partagée, légitime et pertinente à l'origine du manque de mise en œuvre (du défaut d'aboutissement) d'actions pour améliorer les cours d'eau. C'est par conséquent une nécessité que d'évaluer l'appropriation de la population à cette problématique.

Une analyse de la perception de la population sur la condition écologique du Liberia a permis de donner des éléments de réponses à ces questionnements.

Les enquêtes de perception des habitants et des acteurs économiques, ont été menées en 2016. Pour évaluer l'appropriation de l'enjeu de qualité des eaux du Liberia, des questions ciblent les connaissances de base sur le fonctionnement du système hydrographique, des éléments de flore et de faune associées à la rivière, des usages et des habitudes de fréquentation ainsi que la perception de l'état du cours d'eau et le niveau d'engagement citoyen des enquêtés, habitants riverains ou acteurs économiques.

Les nouvelles connaissances sur la relation entre les gens et le cours d'eau montrent que les habitants connaissent mieux les éléments naturels de base tels que l'hydrographie, la flore et la faune, que les acteurs économiques. Néanmoins, cette connaissance reste souvent inégale. Les habitants, dans leur majorité, disent fréquenter et plus fréquemment la rivière, que les acteurs économiques. La cartographie et l'analyse des points de fréquentation signalent l'importance des ponts mais aussi des noyaux urbains de la ville. Pour les habitants, la rivière est avant tout un espace de passage et moins souvent de récréation. Pour les acteurs économiques, la principale raison pour fréquenter la rivière est l'action sociale à travers des campagnes désormais conventionnelles de nettoyage et de reboisement.

Même si, d'après la perception de la population, la plupart des espaces fréquentés sont décrits comme des espaces dégradés, quelques espaces urbains que les gens visitent sont décrits comme non dégradés. La rivière, perçue globalement de façon négative, est un espace peu valorisé par les habitants et les acteurs économiques. Ceci configure le manque généralisé d'appropriation du cours d'eau, permet d'expliquer en partie le processus continu de dégradation et l'insuffisant engagement institutionnel pour la mise en œuvre d'actions de restauration. Cette restauration pourrait pourtant favoriser l'amélioration de la qualité de vie de la population.

Ce chapitre cherche à répondre l'hypothèse que les indicateurs de qualité de l'eau établis dans la réglementation costaricienne et la perception socio-environnementale de l'hydrosystème sont complémentaires dans la compréhension des processus impliqués dans la dynamique état-pression. Connaître la position géographique des points de fréquentation intenses ainsi que des sites perçus comme dégradés par les deux populations peut aider à optimiser/cibler/orienter les efforts de surveillance scientifique. A terme, cela peut guider dans la proposition de modalités d'intégration et d'appropriation sociale. Dans ce chapitre nous réalisons deux exercices à ce

propos (Figure 74) : identifier la cohérence entre le suivi scientifique du Liberia et la perception des riverains, et identifier les apports de l'étude de la perception sociale des riverains à la surveillance scientifique.

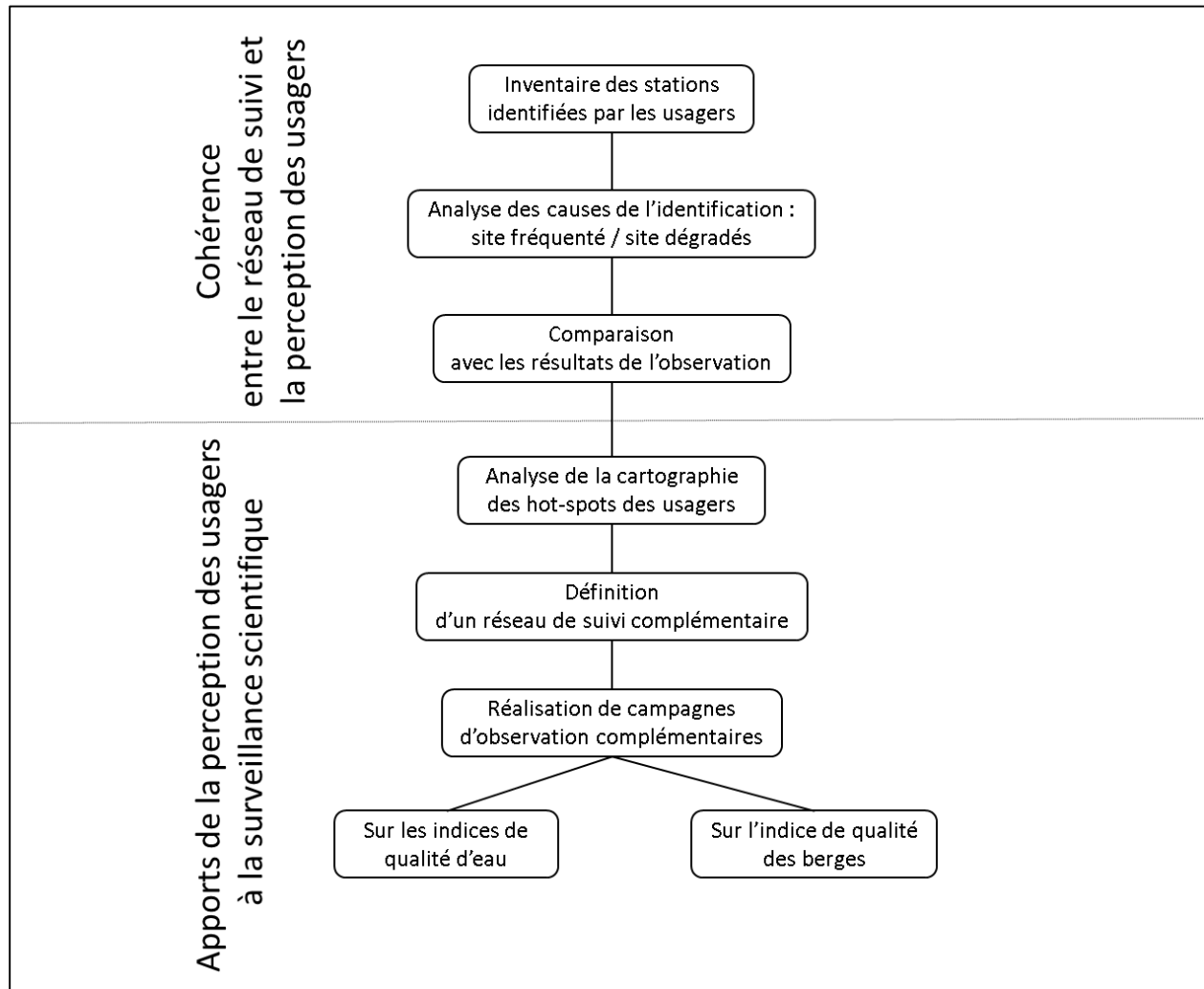


Figure 74 : Méthode suivi pour répondre à la question : Le croisement des données permet-il d'améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau ?

5.2 Cohérence entre le suivi scientifique du Liberia et la perception des riverains

Il s'agit ici d'analyser le niveau de cohérence entre la connaissance scientifique de l'état de la rivière issue de mesures in-situ de paramètres de qualité des eaux, avec la perception que les riverains et les usagers ont de cette qualité. Autrement dit, la perception sociale de la qualité de

la rivière correspond-elle avec la compréhension qu'en ont les scientifiques ? Pour répondre à cette question on va étudier la relation des mesures de la qualité de l'eau observées entre 2013 et 2015, avec les réponses acquises suites aux démarches d'enquêtes réalisées en 2016 auprès de la population.

La méthodologie de cette analyse consiste tout d'abord à vérifier si les points de mesure sont effectivement identifiés comme des points-clés par les populations enquêtées. Ensuite, si les états décrits par les indices de qualité de l'eau et les indices pressions locales à chaque station, montrent une cohérence ou pas avec les résultats de l'analyse de perception.

5.2.1 Quelle est la perception de nos points de mesure : ont-ils été repérés par la population ?

La qualité de l'eau est suivie en sept stations de surveillance fixées en fonction de l'occupation du sol en amont (donc en fonction des pressions globales) : En forêt naturelle station S₁-Sm, et deux en terrain rocheux : les stations S₂-Ey et S₃-Lm. Cette dernière station est intéressante puisqu'elle se trouve à la périphérie de la ville. Les trois stations en zone urbaine sont S₄-Lc à la sortie du bâti mixte, S₅-Ec en bâti dense et, S₆-Pt au rejet de la station d'épuration d'eaux usées à l'aval de la périphérie sud-ouest de la zone urbaine. Enfin, la station S₇-Pu est localisée en zone d'agriculture à moyenne intensité. Les pressions locales en ces points ont été étudiées en détail.

Pour définir si ces stations sont repérées par la population enquêtée (Tableau 19), les questions pertinentes qui répondent aux endroits de fréquentation sont : « ¿Qué sectores del río visita usted? » (Quels secteurs de la rivière fréquentez-vous?), et de dégradation perçue: « ¿Podría mencionar dos puntos donde el río se encuentre mayormente afectado por la contaminación? » (Pourriez-vous indiquer deux points où la rivière se trouve plus affectée par la pollution ?).

D'après l'analyse des réponses à ces questions, cinq parmi les sept stations sont identifiées de façon explicite. Ces endroits sont cependant identifiés pour des raisons différentes (Tableau 18).

Tableau 18. Endroits indiqués par la population indicatifs des stations du réseau de mesure.

Station de mesure	Indication	Commentaire
S ₁ -Sm	El Chorro	200 m à l'amont de la station
S ₂ -Ey	*non signalé*	En propriété privée
S ₃ -Lm	Poza Los Mangos	Zone de baignade
	Saca de agua	Barrage de prélèvement au droit
S ₄ -Lc	La Cueva	Bar-Restaurant au droit de la station
S ₅ -Ec	Vertido los Piches	Confluence entre le Liberia et Piches
S ₆ -Pt	Vertido de aguas del AyA	Rejet de la station d'assainissement
S ₇ -Pu	Economy Rent-a-Car	Etablissement de location de voitures au droit de la station

En gras les indications qui correspondent exactement au point de surveillance

De l'amont vers l'aval les stations du réseau de mesures de qualité de l'eau, la première station (S₁-Sm) a été indiquée par des habitants par le point « El Chorro », endroit qui désigne l'ouvrage de canalisation de dérivation à environ 200 m à l'amont de la station. La station S₂-Ey n'a pas été indiquée ni par des habitants ni par des acteurs économiques, visiblement car elle se trouve en propriété privée à « Finca El Yugo ». Des habitants ont indiqué exactement la « Poza Los Mangos » (S₃-Lm), pourtant, « Saca de Agua », nom familier de l'ouvrage de prélèvement d'eau potable à l'amont de la ville, se trouve à l'aval de cette station (50 m environ). Les deux nominations peuvent alors être prises en compte.

La station S₄-Lc correspond au point indiqué « La Cueva », nom du restaurant au droit de la station de mesure. Des habitants ont indiqué précisément les stations de mesure S₅-Ec et S₆-Pt respectivement à « Vertido Los Piches » et « Vertido de Aguas del AyA ». Enfin, la dernière station de mesure S₇-Pu a été indiquée par les habitants et les acteurs économiques par l'établissement commercial à l'endroit « Economy Rent-a-Car ».

5.2.2 **Quelle est la perception sur les points de mesure : Les stations de mesure sont-elles des lieux fréquentés ou plutôt perçus comme dégradés (...ou un peu des deux) ?**

Comme observé précédemment, les habitants ont indiqué les stations de mesure soit comme des endroits de fréquentation ou des endroits dégradés. Le Tableau 19 résume les effectifs correspondants aux stations des mentions en tant qu'endroits indiqués soit comme fréquentés ou comme spécialement dégradés. « El Chorro » est l'endroit qui se trouve le plus proche de la station S1-Sm. Celui-ci a été indiqué par deux habitants comme un endroit de fréquentation.

La « Poza Los Mangos », « Saca de Agua » -situés à la station S3-Lm- et « La Cueva » - station S4-Lc- sont les endroits les plus fréquentés par cette population d'après 8, 16 et 10 personnes respectivement. Aucune personne n'a indiqué des points de fréquentations correspondants aux stations S5-Ec et S6-Pt, mais un habitant et l'acteur économique de l'endroit a signalé le point dit « Economy Rent-a-Car » -station S7-Pu- comme un endroit de fréquentation. Il s'agit sûrement du passage en voiture typiquement fait en vitesse sur le pont sur la route de l'aéroport (RN21).

En termes de dégradation, la station S1-Sm n'a été indiquée par personne. En revanche, la « Poza Los Mangos » et « Saca de agua », des endroits fréquentés, sont signalés aussi par 4 et 5 personnes respectivement comme des endroits dégradés. Alors que ces points n'ont pas été indiqués comme des endroits de fréquentation, les points « Vertido Los Piches » et « Vertido de aguas del AyA » sont signalés par grand nombre d'habitants comme des endroits dégradés : 15 et 24 personnes les ont respectivement signalés ainsi. Finalement, l'acteur économique « Economy Rent-a-Car » -situé aux rives de la station S7-Pu a signalé l'endroit comme dégradé.

Tableau 19. Nombre d'habitants et d'acteurs économiques qui ont indiqué les stations de mesure*.

Indication	Habitants		Acteurs économiques	
	Fréquentatio n	Dégradation	Fréquentation	Dégradation
<u>Station S₁-Sm :</u>	(2)			
- El Chorro	2			
<u>Station S₃-Lm :</u>	(24)	(9)	(1)	
- Poza Los Mangos	8	4		
- Saca de Agua	16	5	1	
<u>Station S₄-Lc :</u>	(10)			
- La Cueva	10			
<u>Station S₅-Ec :</u>		(24)		
- Vertido los Piches		24		
<u>Station S₆-Pt :</u>		(25)		(4)
- Vertido de aguas del AyA		25		4
<u>Station S₇-Pu :</u>	(1)		(1)	
- Economy Rent-a-Car	1		1	

*Sur 100 habitants et 32 acteurs économiques

5.2.3 Quelle est la perception sur nos points de mesure : Les perceptions sont-elles cohérentes avec les indices de la qualité de l'eau observée ?

Les indicateurs choisis par la loi du Costa-Rica, le PQI'CR, BMWP'CR et FCC'CR, nous permettent de faire le suivi de l'eau des pressions sur les conditions biophysiques des cours d'eau (cf. chapitre 3). Grâce aux prélèvements de la période 2013-2015, nous avons pu décrire la variabilité de la qualité de l'eau de la rivière. Les valeurs minimales à chaque station nous présentent les meilleures qualités de l'eau observée par ces indicateurs ; les maximales, les pires conditions à chaque station.

Les jeux de données de qualité de l'eau et ceux obtenus de l'analyse de perception effectuée sont très différents entre eux. Les détails de la variabilité de la qualité ne peuvent pas être

directement interprétés par l'observation du nombre de personnes qui indiquent les stations comme des endroits de fréquentation ou des endroits perçus comme dégradés (Tableau 19).

La station S₁-Sm se trouve en zone naturelle à côté de la route mais n'est ni visible ni facilement accessible depuis la route. Or les ouvrages hydrauliques aux alentours et en particulier celui connu comme « El Chorro » sont cependant visibles depuis la route et se trouvent à proximité du parc national, sur le corridor touristique de zone de montagne. Selon nos résultats l'endroit est très faiblement fréquenté et n'est pas indiquée comme un endroit dégradé. En termes de qualité de l'eau, ceci n'est pas incohérent. Les indicateurs de qualité de l'eau sont dans la plupart des observations de bonne qualité.

La station S₃-Lm, décrite par les points « Poza Los Mangos » et « Saca de Agua » est un endroit de baignade et pêche occasionnelle favorisé par le seuil qui permet le prélèvement d'eau à la station de traitement d'eau potable de la ville. L'endroit est fortement fréquenté selon les habitants qui certains d'entre eux repèrent l'endroit aussi comme étant dégradé. Les observations de la qualité de l'eau montrent une tendance à la dégradation : les indicateurs biologiques ont signalé une mauvaise qualité de l'eau.

La station S₄-Lc, est placée à un ancien endroit de baignade connu auparavant comme "Posa la Calera". Pourtant cet endroit n'est désigné qu'en référence au bar-restaurant nommé "La Cueva". Ce restaurant a été signalé comme un espace de forte fréquentation du bord de la rivière. Il ne s'agit plus d'un lieu de baignade, mais de détente et de restauration. De plus, des pêcheurs ont été occasionnellement observés. Or, personne n'a indiqué l'endroit comme étant dégradé alors qu'à cette station la qualité de l'eau est -à minima- mauvaise sur les indicateurs biologiques. On observe par conséquent, une incohérence ici. Le fait, qu'il ne s'agit plus d'un espace de baignade mais un lieu de détente et restauration -donc où les usagers gardent une distance implicite avec le cours d'eau- pourrait influencer cette perception. En outre, cette incohérence s'explique du fait que la perception est majoritairement favorable de la rivière en termes de couverture végétale.

Les deux stations suivantes à la confluence du Piches et à la station d'épuration d'eau usées présentent les plus fortes indications de dégradation de la qualité des eaux, parmi les sept stations suivies. Personne ne les indique comme des endroits de fréquentation, malgré la forte densité de logis aux alentours. Conformément aux résultats des indicateurs de qualité de l'eau qui, sauf

exception, montrent une très mauvaise qualité, les stations S₅-Ec et S₆-Pt ont été indiqués comme des lieux très dégradés par le plus grand nombre de personnes.

Finalement, la dernière station S₇-Pu, est très peu souvent indiquée comme endroit de fréquentation. Alors que personne ne l'a indiqué comme un endroit dégradé, les indicateurs de qualité de l'eau observés présentent forts niveaux de dégradation, même légèrement supérieurs à ceux de la station précédente.

Tableau 20. Statistiques des indicateurs aux stations repérées par les populations.

Indices	Stations de mesure					
	S ₁ -Sm	S ₃ -Lm	S ₄ -Lc	S ₅ -Ec	S ₆ -Pt	S ₇ -Pu
PQI'CR	Pollution naissante [1 ; 2]	Pollution naissante [2 ; 2]	Pollution naissante [2 ; 3]	Pollution naissante [2 ; 3]	Pollution sévère [2 ; 5]	Pollution modérée [1 ; 4]
BMWP'CR	Qualité modérée [1 ; 4]	Très polluée [4 ; 6]	Polluée-très polluée [4 ; 5]	Très polluée [5 ; 6]	-	Très polluée [5 ; 6]
FCC'CR	Protection possible [2 ; 4]	Protection possible [2 ; 5]	Protection impossible [4 ; 5]	Protection impossible [5 ; 5]	Protection impossible [5 ; 5]	Protection impossible [4 ; 5]
Niveau de dégradation ou de dégradation à l'endroit indiqué correspondant						
Fréq.	Faible	forte	moyenne	n.s	n.s	faible
Dégr.	n.s	moyenne	n.s	forte	forte	n.s

n.s. = non signalé

5.3 Apports de l'étude de la perception sociale des riverains à la surveillance scientifique

L'enquête de perception auprès des usagers a fourni des informations sur des zones du bassin qui ne sont pas directement suivies par les stations de mesure du programme de surveillance de la rivière. On a ainsi pu identifier les ruisseaux, ainsi que des tronçons de la rivière présentant des sites d'intérêt.

Il est nécessaire de localiser de nouvelles stations de surveillance de la qualité de l'eau et des tronçons d'observation de la ripisylve, pour approfondir les connaissances scientifiques aux sites importants du point de vue des riverains.

Ensuite, il s'agit de décrire l'état de la rivière, à partir des résultats d'une campagne d'observations effectuée en 2017, pour obtenir des informations scientifiques et vérifier la pertinence de ces nouveaux sites, indiqués par les usagers.

5.3.1 Définition de nouvelles stations de surveillance de qualité de l'eau et de tronçon d'observation de la ripisylve

5.3.1.1 Résumé des site-clés signalés par les usagers

Les enquêtes effectuées ont mis en évidence une diversité d'endroits situés dans la zone urbaine et dispersés le long du réseau hydrographique -cour d'eau principal et ruisseaux-, tout particulièrement le Danta, le Carreta, le Pantéon et le Piches. Les mentions de fréquentation et/ou de dégradation par la population sont indicatives des points d'intérêt de notre réseau hydrographique. La mise en place de ces points donne plus de précisions sur la condition de la rivière en zone urbaine.

Comme prévisible, le plus grand nombre de sites signalés par les riverains se trouvent le long du río Liberia. Sur la rivière, les références deviennent de plus en plus importantes dans le quartier historique de la ville de Liberia, le quartier Condega, puis dans le quartier aval du centre-ville, le quartier Capulin.

Sur le ruisseau Piches nous avons obtenu un nombre important d'indications, toutes confondues entre habitants et acteurs économiques, en termes de fréquentation et dégradation. Le premier point indiqué de l'amont vers l'aval est "Martina Bustos", mais les points les plus importants sur le ruisseau sont "Puente Piches-San Roque" et "Puente IMAS-Corazon de Jesus". Un dernier point, "Puente El Resguardo", a été identifié seulement en deux occasions.

Sur le ruisseau Panteon, on localise les indications distribuées sur neuf points depuis le "Puente Pueblo Nuevo-La Guaria". Les points les plus importants sont toujours dans le quartier historique entre "Puente La Rotonda", "Puente Panteon" et "La Guaria". Panteon est le dernier point indiqué sur le ruisseau, avant qu'il rejoigne le ruisseau Piches à l'aval du centre-ville dans le quartier Capulin.

Enfin, on observe sur le ruisseau Danta, l'indication "Vertido Municipal" localisé à l'extérieur et à l'amont de la zone urbaine, et sur le ruisseau Carreta, "Puente La Carreta", qui se trouve en début de zone urbaine dans le quartier du même nom que le ruisseau.

5.3.1.2 Localisation des nouvelles stations de suivi

A la lumière des informations ci-dessus, on constate la nécessité de renforcer le suivi sur le réseau hydrographique, notamment sur le río Liberia en zone urbaine et sur les affluents principaux : Piches et Panteon. Le Tableau 21 présente les descriptions des nouvelles stations de surveillances proposées.

Sur le río Liberia, l'observation peut être renforcée sur deux tronçons de la rivière : entre la station S₃-Lm et S₄-Lc, et entre la station S₄-Lc et S₅-Ec. De nouveaux points sur ces ruisseaux permettront de connaître l'état des cours d'eau le long du secteur nord de la ville, qui n'est suivi par le programme de surveillance que par le point situé après la confluence du ruisseau Piches avec le Liberia (S₅-Ec). Ce secteur est densément peuplé avec des quartiers qui se sont développés suivant la logique de croissance de la ville.

Tableau 21. Descriptions des nouvelles stations de surveillance.

Cours d'eau	Nouvelle station	Tronçon(s) d'observation	Description
Liberia	P ₁ -Fp	«Pueblo Nuevo-Moracia» «Puente Felipe Pérez-Chorotega»	Quartiers Moracia et Felipe Perez à l'amont de la confluence de La Carreta
Liberia	P ₂ -Pr	«Puente La Victoria» «Puente Real»	Tronçon où se trouvent le plus grand nombre de citations de la zone urbaine
Liberia	P ₃ -Es	«El Sitio» «Puente La Arrochera» «Puente Colegio Laboratorio» «Vertido de aguas del AyA»	Tronçon entre la route interaméricaine et le pont La Arrochera
Panteon	P ₄ -Pn	«Puente La Rotonda» «Puente Panteon»	Dernier point de perception du ruisseau
Piches	P ₅ -Pi	«Puente Piches-San Roque»	Point à l'aval du ruisseau avec grand

Durant la période de septembre-novembre 2017, une campagne d'observation de terrain a été effectuée pour caractériser la qualité de l'eau et les pressions locales sur les tronçons repérés comme stratégiques (Figure 75). Cette observation s'est effectuée par le biais des indices de qualité de l'eau physico-chimiques (PQI'CR) et de présence de coliformes fécaux (FCC'CR) et d'une observation systématique des tronçons en utilisant le Riparian Quality Index (RQI). En plus, les caractéristiques du lit, de la berge et de la rive ont été décrites tout en réalisant le recensement de rejets sauvages et de gros déchets repérés dans le tronçon observé.

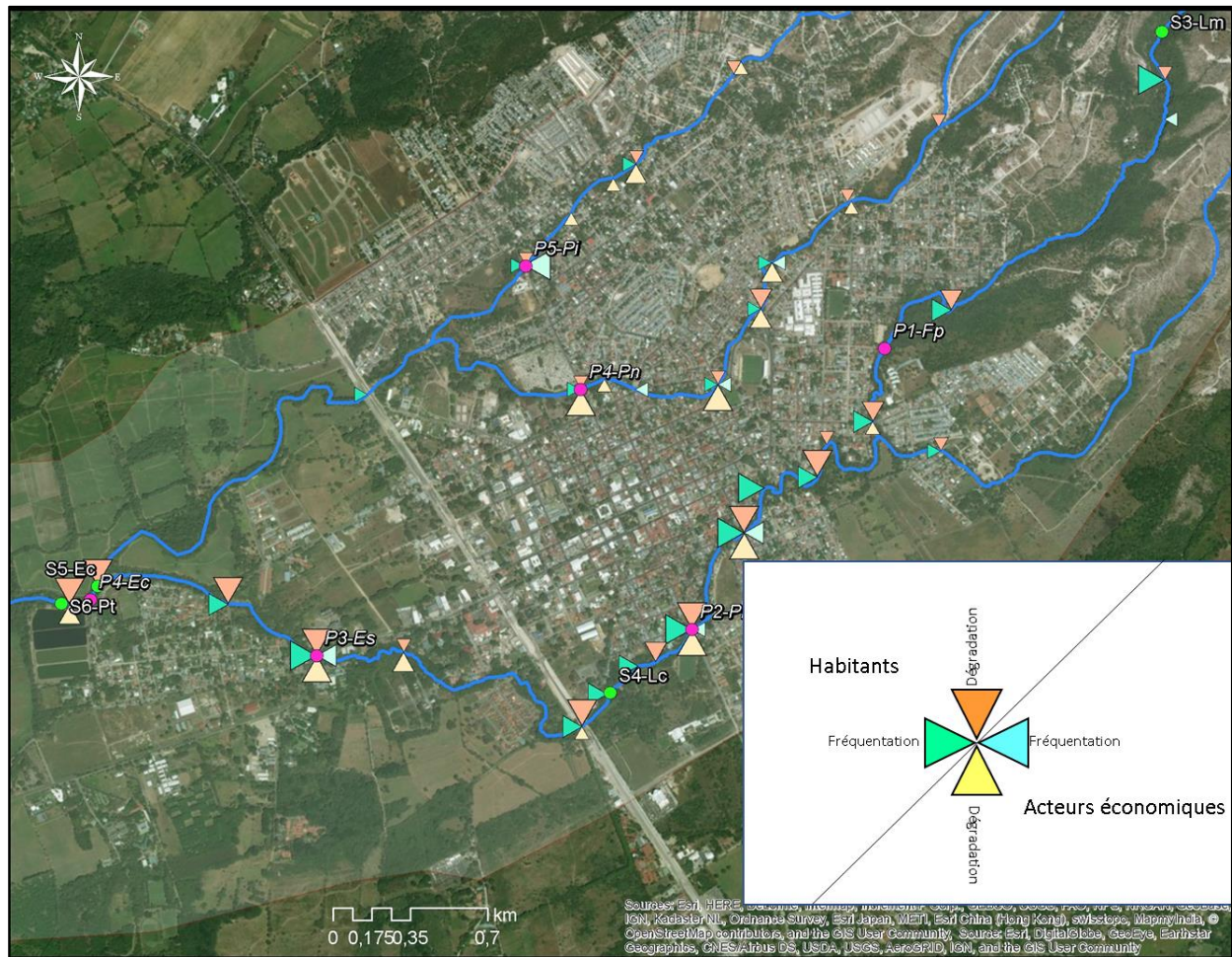


Figure 75. Localisation des stations de mesure proposées en zone urbaine.

5.3.2 Retours des observations de la qualité de l'eau effectuées en 2017

La campagne de prélèvement afin de construire l'indice PQI'CR et FCC'CR, s'est effectuée le 24 octobre 2017 sur les stations complémentaires. Les conditions hydrologiques données étaient de H₂ selon l'indice « H » présenté dans le chapitre III. Les précipitations (Figure 76) ont été marquées spécialement par le phénomène de La Niña, à la fin de la saison des pluies. La tempête tropicale « Nate » a présenté le maximum de pluie journalière de 247 mm le 4 octobre, et 111 mm le 5 octobre. Sur tout le mois d'octobre un total de 615 mm de pluies a été observé. Ces conditions ont rendu périlleuses le prélèvement de macro-invertébrés.

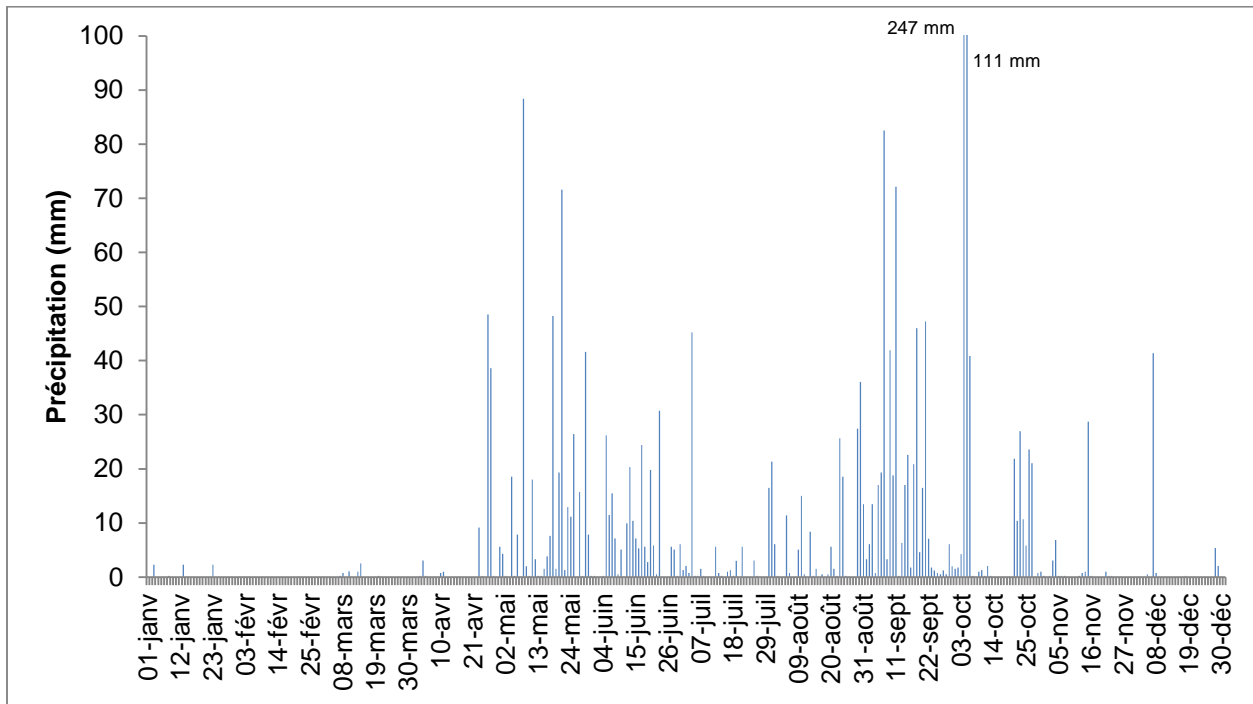


Figure 76. Précipitation journalière de l'année 2017 à Liberia (Universidad Nacional, 2018).

Les conditions physico-chimiques décrites par le PQI'CR présentent pour la date de prélèvement des conditions de pollution naissante pour toutes les stations observées. On observe pour les stations des faibles valeurs de DBO₅ et de NH₄-N inférieures à 3 mg/L et à 0,50 mg/L respectivement, valeurs seuils de la première classe (Figure 77). Les valeurs de l'oxygène dissous sont, légèrement moins favorables, définissant ainsi la valeur de l'indice. Au contraire, la qualité de l'eau microbiologique observée par la présence de coliformes fécaux présente une très forte pollution bien au-dessus du seuil de 5000 ufc/100 ml de la dernière classe de l'indice

(classe 5). Les valeurs sont spécialement élevées aux stations des ruisseaux (P₄-P_n et surtout P₅-P_i) avec une concentration de l'ordre des 200 000 ufc/100 ml.

Ainsi, les valeurs du PQI'CR et FCC'CR sont contrastées (Tableau 22). Tandis que l'indice physico-chimique présente une pollution naissante, l'indice des coliformes fécaux présente des graves conditions. Les fréquents rejets sauvages depuis les domiciles riverains sont à l'origine de ces fortes valeurs, dont leurs apports en eau peuvent parfois être plus importants que les apports naturels issus des précipitations, compte tenu du caractère éphémère de ces ruisseaux. Cependant, les faibles valeurs des paramètres du PQI'CR pourraient s'expliquer d'une part par les fortes précipitations des journées précédentes ainsi que par la faible présence de matière organique et par le lit majoritairement constitué d'un socle de roche à nu, sans couche de sable ou sans sol.

Tableau 22. Indices de qualité d'eau observés le 24 octobre 2017.

Nouvelle station	DBO ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	DO (%)	PQI'CR score	FCC'CR (ufc/100 ml)
P1-Fp	0,83	0,24	70,8	5	10 140
P2-Pr	0,74	0,28	62	5	15 530
P3-Es	0,77	0,23	72,7	4	19 040
P4-Pn	1,56	0,27	52,4	5	86 640
P5-Pi	1,2	0,27	45,9	6	198 630

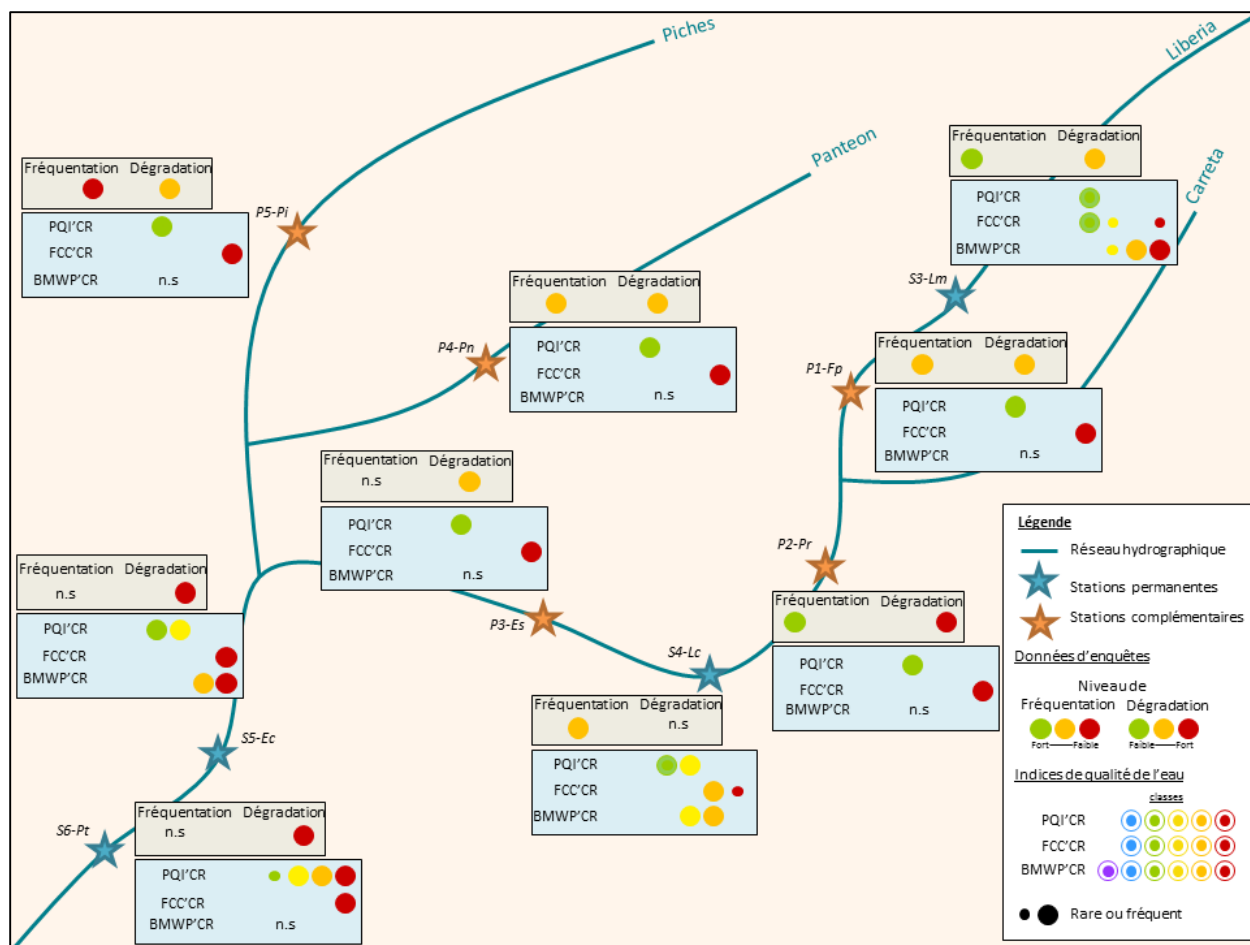


Figure 77. Schéma des indices de qualité de l'eau observés le 24 octobre 2017.

Bilan : *Campagne d'observation complémentaire (24 octobre 2017)*

Conditions hydrologiques :

- Type H2
- 20 jours après la tempête tropicale "Nate"

Prélèvements :

- Uniquement sur les stations complémentaires

Résultats :

- PQI'CR: Tout est vert = Forte dilution
- BMWP'CR: impossible à mesurer = trop d'eau
- FCC'CR: Tout est rouge = ruissellements très chargés

5.3.3 Retours d'observations des conditions de la ripisylve effectuées en 2017

En zone urbaine, les conditions de la ripisylve sont fortement impactées d'après les observations de la ripisylve des tronçons stratégiques effectuée lors entre les mois de septembre et de novembre de l'année 2017. Sur le Liberia on observe une dégradation des attributs en zone urbaine qui s'accroît sur les tronçons « Puente Real » et « El Sitio » (Figure 78). Sur le premier, les conditions générales sont moyennes, avec une présence de maisons de part et d'autre de la rivière. La largeur et la végétation des deux berges sont dégradées, cependant, on observe une plus forte affectation du côté gauche. Sur le deuxième, les conditions se dégradent à la valeur de l'indice « pauvre ». La largeur de la rive gauche s'améliore en dépit de la rive droite. On observe une amélioration des conditions à l'aval de ce tronçon sur « El Capulin (amont) », qui passent à des bonnes conditions. Le lit devient plus large, la pente de la berge droite devient très faible, et meilleures conditions de la végétation avec une dense strate arbustive. On observe ici, des bonnes conditions de la rive droite.

Sur la totalité des tronçons observés, les dix attributs du RQI présentent les plus faibles niveaux sur le lit, berges et rives des ruisseaux Piches et Panteon, surtout ce dernier. Ces cours

d'eau éphémères et présentent des pauvres conditions en termes de la largeur, de la végétation et en particulier d'un creusement du lit très important, résultants de l'activité humaine. Les maisons envahissent la zone de protection des cours d'eau limitant la connectivité longitudinale et transversale. Rejets sauvages et amoncellements de déchets sont fréquents dans tous les tronçons de la zone.

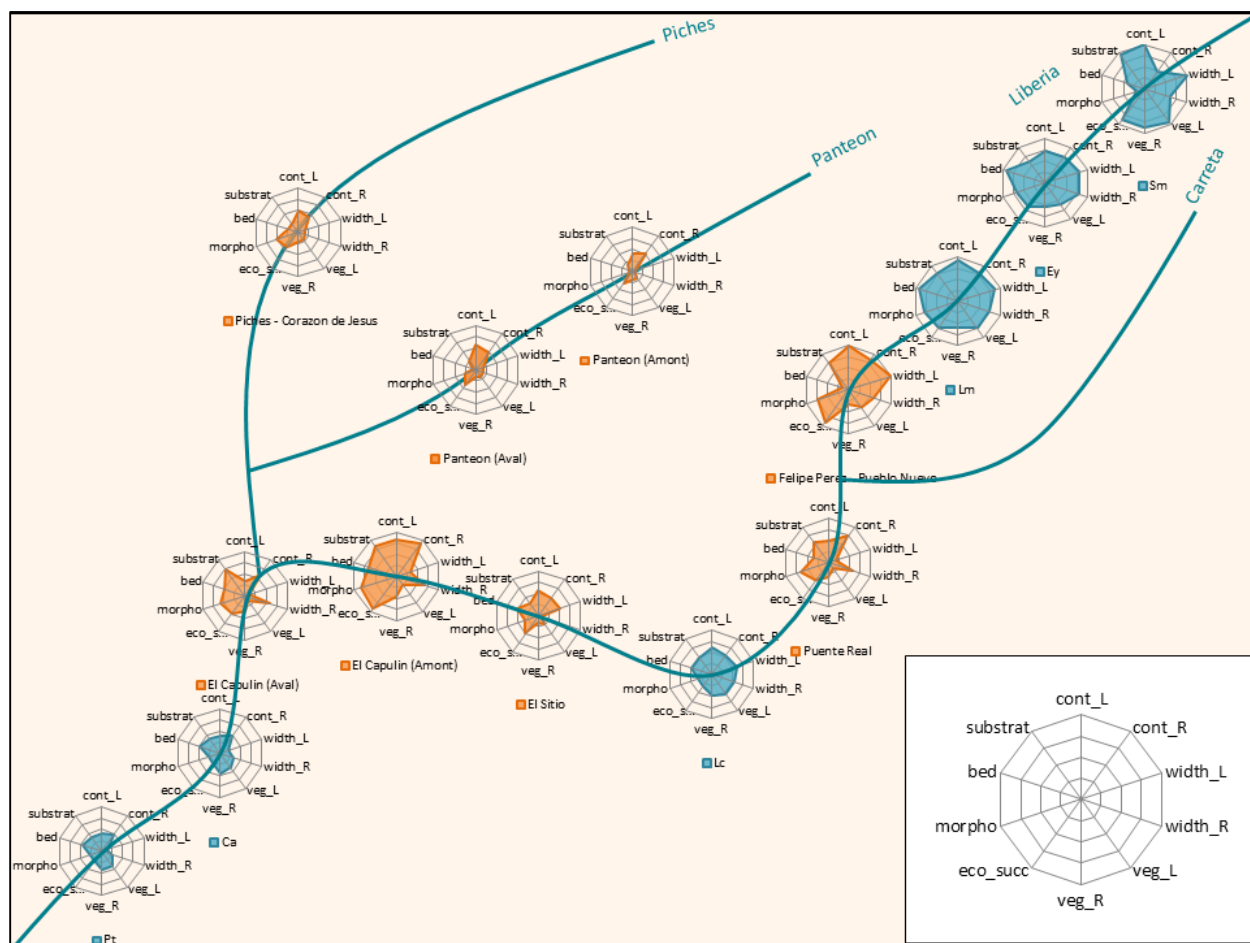


Figure 78. RQI observé sur stations permanentes et complémentaires sur schéma du réseau de surveillance.

Bilan : *Campagne d'observation complémentaire (octobre-novembre 2017)*

Observation du RQI :

- Aux 5 stations complémentaires
 - + 2 stations pour densifier la connaissance sur le Liberia
 - + 1 sur le Panteón

Résultats :

- Sur le Liberia :
 - Les stations amont montrent une bonne qualité des conditions rivulaires
 - A partir de l'entrée de la ville, les résultats sont très hétérogènes
- Sur les affluents :
 - On observe les plus fortes dégradations des conditions rivulaires

5.3.4 Caractérisation d'éléments urbains observés *in situ* de l'action humaine

Pour donner suite aux retours de la campagne effectuée en 2017, des éléments complémentaires particuliers deviennent significatifs dans la zone d'étude. Déjà dans l'analyse de perception les riverains avaient indiqué les problématiques environnementales de la rivière les plus importantes selon eux (Déchets solides, par exemple). Les observations de la campagne les ont confirmés et d'autres éléments ont aussi été identifiés.

Il existe sur la ripisylve une invasion de la zone de protection. La Loi Forestière du Costa Rica définit parmi les zones de protection une frange de 15 m en zone rurale et de 10 m en zone urbaine mesurés horizontalement de part et d'autre des berges des rivières et ruisseaux, lorsque la pente est plate, et de 50 m horizontaux lorsque le terrain présente de fortes pentes. Etant cette problématique d'invasion de zones protection, récurrente au Costa Rica, Valdés Torres (2010), résume du point de vue juridique le suivant :

- l'Institut National de l'Habitat et de l'Urbanisme, et les mairies sont les principales institutions chargées de veiller au respect de ces zones

- l'invasion des zones de protection est un concept qui intègre non seulement les bâtiments, mais également le déboisement ou l'altération de la flore environnante.
- le délit d'invasion constitue un délit permanent, donc, le délai de prescription ne commence qu'à partir de l'arrêt de l'invasion.
- étant donné que les zones de protection ne sont pas des biens de domaine public, mais plutôt une limitation à la propriété privée, ce n'est pas une obligation de l'Etat de les exproprier.

5.4 Leçons acquises

Les connaissances des pressions et de l'état de l'hydrosystème ont été complétées par l'information issue de l'enquête de perception socio-environnementale de la rivière.

Nous constatons des résultats prometteurs dans la mesure où lorsque la population mentionne le lieu correspondant à une station de mesure, il existe une cohérence entre la perception des riverains et les observations scientifiques. En l'état, l'analyse de perception nous offre de l'information intéressante sur la robustesse du programme de surveillance de la rivière.

En effet, elle a permis de définir des nouvelles stations de surveillance sur le cours d'eau et en particulier sur les ruisseaux qui jusqu'à présent n'étaient pas considérés par les stations de surveillance choisis. À la suite d'une campagne d'observation menée en 2017, ont complété la connaissance sur la variabilité spatiale de la qualité de l'eau et de la ripisylve en milieu urbain, en particulier des observations effectuées pour le suivi d'éléments problématiques tels que les déchets solides, les rejets sauvages et l'altération de la zone de protection.

Bilan :

Le croisement des données permet-il d'améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau ?

Analyse de cohérence entre le réseau de suivi et les site-clés

- Les stations en milieu urbain sont effectivement repérées par les usagers
- Il y a cohérence entre la dégradation perçue par les usagers et la qualité de l'eau observée grâce au réseau de suivi permanent

Apports de la perception à la surveillance scientifique

- La cartographie des site-clés a permis de densifier le réseau de suivi
- Ces nouvelles stations affinent les connaissances sur la variabilité spatiale des conditions de la berge
- Campagne complémentaire : les conditions hydrologiques très humides suivant une tempête tropicale peuvent expliquer des indices de qualité d'eau homogènes sur l'ensemble des stations complémentaires :
 - Ruissellement généralisé
 - Hautes eaux diluant les concentrations
- Les affluents jusqu'alors non suivis mettent en évidence une forte dégradation de la qualité de l'eau et de la berge

Conclusion

L'activité humaine exerce des pressions sur les ressources naturelles d'une telle ampleur qu'un processus de changement global s'est déclenché, menaçant la résilience d'une multitude de formes de vie y comprises les populations humaines. Dans ce système socioécologique mondial, les ressources naturelles sont partagées et exploitées par les êtres humains qui, motivés par leurs intérêts individuels, ont du mal à inverser ou du moins contenir ces processus. Dès lors, on fait face à une altération de l'environnement et une dégradation des ressources naturelles qui frappent particulièrement les populations les plus vulnérables.

Historiquement, les systèmes hydrographiques présentent un modèle d'exploitation et de dégradation depuis le début des peuplements humains : l'intégrité écologique des systèmes aquatiques et la qualité de vie des populations humaines qui y sont associées, sont mises en jeu à l'échelle locale. Ceci est une problématique importante des zones urbaines du Costa Rica.

Face à ce problème, la réponse humaine passe généralement par deux approches qui fournissent des systèmes de connaissances distincts. La première approche, s'appuie sur des mesures réglementaires qui, mises en œuvre par les gestionnaires de la ressource, permettent de diagnostiquer l'état des cours d'eau et sont orientées vers le contrôle et, dans certains cas, vers la restauration des cours d'eau. La seconde approche qui a pour objectif de comprendre les rapports entre les usagers et de l'hydrosystème peut, quant à elle, favoriser l'auto-organisation des usagers autour de la gestion durable des ressources naturelles.

Ces approches mobilisent deux instruments clés : les indicateurs réglementaires de qualité de l'eau et la perception sociale de l'état l'hydrosystème en tant que milieu et en tant que ressource. Dans cette thèse, nous sommes partis de l'hypothèse que la double connaissance biophysique et sociale issue des deux instruments clés, est nécessaire afin de pouvoir agir efficacement.

La ville de Liberia a été choisie comme zone d'étude. Elle offre, dans le contexte national du Costa Rica, la possibilité de produire une connaissance représentative des villes dites périphériques (de la Grande Aire Métropolitaine – GAM), face à la problématique récurrente de dégradation des cours d'eau urbains qui les traversent. Liberia est un cas exemplaire du Guanacaste (région du Pacifique Nord) et du bassin versant du fleuve Tempisque. Zone urbaine la plus importante du Guanacaste, elle se développe de façon assez chaotique malgré les efforts

de planification effectués. Les villes voisines surtout Bagaces et Cañas, mais également d'autres villes à l'intérieur du bassin telles que Filadelfia, Santa Cruz et Nicoya suivent ce même modèle.

La qualité de l'eau du río Liberia a été étudiée par le biais de suivi réglementaires et de l'étude de la perception des riverains. Trois questions ont été visées : les indices réglementaires sont-ils efficaces pour rendre compte de la qualité de l'eau ? ; la perception de la rivière par les usagers est-elle consistante pour décrire la qualité de l'eau ? et le croisement de ces deux types d'information permet-il d'améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau ?

La surveillance de la qualité de l'eau du río Liberia a été effectuée entre 2013 à 2015, à l'initiative du laboratoire Hidrocec de l'Université Nationale. Ce suivi a permis, dans un premier temps, de mettre à l'épreuve les indicateurs définis dans la réglementation environnementale du Costa Rica et, dans un deuxième temps, de créer une connaissance de l'état des pressions subi par l'hydrosystème. Les indicateurs réglementaires du Costa Rica rendent effectivement compte des pressions naturelles et anthropiques sur l'état écologique du cours d'eau et montrent que, à la fois du point de vue physico-chimique (PQI'CR), biologique (BMWP'CR) et bactériologique (FCC'CR), le milieu aquatique du río Liberia présente des conditions de peu à très polluées.

L'approche temporelle abordée n'a pas pu bien cerner les influences des conditions hydrologiques sur la qualité de l'eau : les analyses des précipitations antérieures n'ont pas été suffisantes pour bien décrire la variabilité temporelle de la qualité de l'eau. Cependant, les indices réglementaires ont bien permis de rendre compte des pressions globales et locales. L'analyse de la relation entre les indices de qualité de l'eau et des indicateurs de pression ont montré l'influence de l'occupation du sol (échelle globale) et de la condition de la ripisylve (échelle locale) sur la qualité de l'eau du cours d'eau. Nous avons ainsi caractérisé de façon précise les pressions qui impactent la condition écologique de río Liberia, en signalant tout particulièrement l'influence de la zone urbaine de Liberia en particulier le rejet de la station de traitement d'eaux usées, et les pressions sur la ripisylve en particulier sur les attributs de largeur, continuité longitudinale et succession écologique.

La lecture combinée des trois indices permet d'identifier l'ensemble des pressions. Sont spécialement identifiées les pressions locales et les pressions urbaines. Le PQI'CR est sensible à (presque) toutes les pressions. Le BMWP'CR et le FCC'CR sont plus discriminants : le FCC'CR est influencé positivement par des bonnes conditions du RQI ; le BMWP'CR et le FCC'CR ne tracent pas les mêmes caractéristiques du milieu urbain. Même si la zone urbaine n'est pas la

surface la plus importante du bassin versant, ce sont les pressions urbaines exercées qui impactent le plus l'état de la rivière. On peut donc parler ici d'une rivière urbaine.

La perception de la rivière par les usagers s'est montrée consistante pour décrire la qualité de l'eau dans la zone urbaine, mais moins pertinente pour le reste du bassin. Les enquêtes de perception des usagers, effectuées en 2016 pour évaluer l'appropriation de l'enjeu de qualité des eaux du río Liberia ont fourni de nouvelles connaissances sur la relation entre l'hydrosystème et, d'une part les habitants, et d'autre part des acteurs économiques riverains. Les habitants et les acteurs économiques ont des intérêts distincts en tant qu'usagers de la rivière. Néanmoins, dans l'hydrosystème qui traverse la ville, la perception de la dégradation est reconnue par tous. Le río Liberia est perçu comme dégradé et dangereux par une grande majorité des habitants enquêtés, tout comme par les acteurs économiques. Une vision un peu plus négative des acteurs économiques est observée par rapport aux habitants. Pourtant, l'état de la végétation rivulaire est perçu positivement en particulier par les habitants.

Les habitants, disent fréquenter la rivière, que les acteurs économiques, et cela et plus fréquemment. Même si d'après la perception de la population, la plupart des espaces fréquentés sont décrits comme des espaces dégradés, la partie amont (et notamment la source) et quelques espaces urbains que les gens visitent sont décrits comme non dégradés (par exemple, la zone de baignade et de pêche dans la partie amont à proximité du barrage d'approvisionnement en eau connu comme la Saca de Agua, et un espace privé préservé dédié à la restauration nommé La Cueva , situé à l'aval du centre historique ...).

La cartographie des sites-clés en termes de dégradation et de fréquentation montre qu'ils s'ordonnent selon l'organisation urbaine. Le centre historique concentre la grande majorité des citations. On identifie, peu de lieux à l'ouest de la route inter-américaine mais ils sont très souvent cités. Cependant comme nouveauté, les affluents présentent des site-clés de fréquentation et de dégradation. La cartographie et l'analyse des points de fréquentation signalent l'importance des ponts, points de passage obligés pour franchir le cours d'eau, mais aussi des grands axes urbains de la ville. Pour les habitants, la rivière est avant tout un espace de passage et en second plan un espace de récréation. Pour les acteurs économiques, la principale raison pour fréquenter la rivière est l'action sociale à travers des campagnes de nettoyage et de reboisement.

Émerge ainsi un manque d'appropriation du cours d'eau par les riverains (résidents ou acteurs économiques) qui explique en partie le processus continu de dégradation et limite la prise en compte de ces enjeux dans les priorités institutionnelles. Pourtant la mise en œuvre d'actions de restauration pourrait largement favoriser l'amélioration de la qualité de la rivière et par là-même la qualité de vie des riverains.

Les connaissances des pressions et de l'état de l'hydrosystème issues des efforts de surveillance ont été croisées avec l'information issue de l'enquête de perception socio-environnementale de la rivière. Ce croisement révèle une importante cohérence entre les deux systèmes de connaissances. La localisation des stations de mesure correspond à des points signalés par les usagers. De plus, perception des riverains et observations scientifiques s'accordent sur le niveau de dégradation du cours d'eau.

Finalement, il y a cohérence entre la dégradation perçue par les usagers riverains et les indices observés grâce au réseau de suivi : les stations en milieu urbain sont effectivement repérées par les usagers. De plus l'analyse des perceptions a apporté des nouvelles connaissances sur les parties du bassin non instrumentées. L'identification, par les habitants, de points dégradés sur le rio Libéria mais aussi sur ses affluents permet aussi d' étoffer le suivi du réseau hydrographique. Cela a conduit à définir de nouvelles stations de surveillance sur le cours d'eau et ses affluents et à réaliser une campagne de surveillance complémentaire au printemps 2017. Ce réseau étendu permet d'affiner les connaissances sur la variabilité spatiale de la qualité de l'eau et des conditions de la ripisylve, à la traversée de la zone urbaine et démontrent l'importante dégradation des affluents, jusqu'alors non suivis. Cependant, si la campagne de suivi complémentaire a permis de vérifier l'accessibilité des stations, elle n'a pas permis de faire une comparaison sur l'ensemble du réseau.

L'étude plus fine de la ripisylve permet d'identifier d'un point de vue spatial des zones remarquables où par exemple –même en zone urbaine- les pressions s'affaiblissent et les conditions s'améliorent, ainsi que des points très altérés notamment sur les ruisseaux du réseau hydrographique. Le maintien des efforts d'observation de la ripisylve dans son zonage réglementaire (zone de protection) ainsi que le suivi de nouveaux éléments spécialement problématiques tels que les déchets solides et des rejets sauvages, deviennent des clés dans les actions futures de contrôle et de restauration de la rivière et par la suite de revalorisation et de réappropriation de ces espaces par les riverains.

Ce travail de thèse est une première étape qui nous a permis de réaliser un diagnostic combinant approches hydrologiques et géographiques. Pourtant de nombreuses questions restent en suspens...

Tant en termes de suivi de l'hydrosystème que de suivi de la perception sociale de l'état de la rivière, d'importantes marges d'amélioration peuvent être réalisées tout en visant le renforcement de l'action sociale et institutionnelle dans les processus de contrôle et de restauration des cours d'eau. Ces marges d'améliorations portent sur la compréhension scientifique de la connaissance hydrologique et des pressions issues de l'activité humaine, et sur la compréhension scientifique de la question sociale et même politique.

Au fur et à mesure que les efforts de suivi hydrologique se poursuivent, l'effectif disponible des données augmente renforçant ainsi la robustesse statistique des analyses. Toutefois, en tenant compte des périodes d'écoulement, il est nécessaire de préciser et caractériser, voire modéliser, la dynamique hydrologique lors des événements de crue. Il est donc nécessaire de déployer une métrologie adaptée au régime éphémère des ruisseaux pour le suivi des crues et des flux de pollutions.

Bien que les indicateurs de la qualité de l'eau soient efficaces pour déterminer les pressions découlant de l'activité humaine caractérisée par l'occupation du sol, ces indicateurs ne permettent pas de surveiller d'autres questions de la qualité de l'eau. Ceci est particulièrement sensible dans le cas des eaux usées domestiques où les graisses et huiles, les phosphates, les polluants émergents (substances médicamenteuses et phytosanitaires, micro-plastiques...) exercent des pressions importantes sur l'état de la qualité de l'eau.

De plus, étant donné que Libéria connaît actuellement un développement urbain important, il est très important de surveiller les changements qui vont se produire en raison de la variabilité temporelle de l'utilisation du sol. A moyen terme, on pourrait envisager une analyse comparant à différents moments la relation entre l'occupation du sol et la qualité de l'eau du cours d'eau.

Il est aussi nécessaire d'approfondir les connaissances (1) de la fourniture en eau potable par l'AyA à l'amont du bassin, (2) des pratiques de consommation domestique et urbaine de l'eau et (3) des dispositifs d'évacuation et de traitement des eaux usées.

Enfin, on s'attend à ce qu'il y ait une variation temporelle dans la perception sociale, il est donc important de conforter un protocole d'enquête pour qu'il soit aisément répliquable. D'autres protocoles pourraient aussi être testés comme des focus group, des « tours de plaine », tout

comme l'usage d'applications sur des appareils mobiles facilitant la collecte et le transfert d'observations citoyennes.

Il est essentiel de mieux cerner les éléments d'engagement social et le niveau d'appropriation sociale de la ressource. Cela nécessite une compréhension de la connaissance partagée du cours d'eau, des problèmes des différents degrés/types de participation à des activités de contrôle et de restauration. Il est finalement essentiel de connaître le niveau de compréhension et de confiance des usagers dans les responsabilités et les compétences des institutions de gestion de l'eau. Le questionnaire d'enquête actuel fournit des premières pistes de réponse qui pourraient être croisées avec des entretiens auprès des acteurs institutionnels.

Toutes ces premières perspectives sont prioritaires pour la construction d'un système de connaissances combiné biophysique et géographique, si l'on veut progresser dans une posture de recherche-action.

Conclusión

La actividad humana en el planeta ejerce presiones sobre los recursos naturales de tal amplitud que un proceso de cambio global ha iniciado, amenazando la resiliencia de una multitud de formas de vida inclusive las poblaciones humanas. En el sistema socio-ecológico mundial, los recursos naturales son compartidos y explotados por los seres humanos que, motivados por sus intereses individuales tienen dificultad para invertir o al menos contener estos procesos. De ahí que se exista una degradación de los recursos naturales que golpea particularmente a las poblaciones más vulnerables.

Históricamente, los sistemas hidrográficos presentan un modelo de explotación y de degradación desde el inicio de los asentamientos humanos: la integridad ecológica de los sistemas acuáticos y la calidad de vida de las poblaciones humanas que les son asociadas, son puestas a prueba escala local. Esto es una problemática importante en las zonas urbanas de Costa Rica.

Ante este problema, la respuesta humana pasa generalmente por dos enfoques que brindan sistemas de conocimientos distintos. El primer enfoque se apoya en las medidas reglamentarias que, empleados por los operadores de los recursos, permiten el diagnóstico del estado de los cuerpos de agua, orientados al control y en algunos casos, hacia la restauración de los cuerpos de agua. El segundo enfoque que tiene como objetivo el comprender las relaciones entre los usuarios y el hidrosistema puede, este favorecer la autoorganización de los usuarios alrededor de la gestión sostenible de los recursos naturales.

Estos enfoques movilizan dos instrumentos clave: los índices reglamentarios de calidad de agua y la percepción social del estado de los hidrosistemas tanto como medio tanto como recurso. En esta tesis, hemos partido la hipótesis que el doble conocimiento biofísico y social derivado de los dos instrumentos clave, es necesaria para afín de poder actuar con mayor eficacia.

La ciudad de Liberia ha sido seleccionada como área de estudio dado que ofrece en el contexto nacional costarricense, la posibilidad de producir conocimiento representativo de las ciudades periféricas en particular de cara a la problemática recurrente de degradación de los cuerpos de agua. Liberia esta de hecho sometida a los diversos procesos de degradación de los cuerpos de agua que la atraviesan. Liberia es un caso ejemplar de Guanacaste (Pacífico norte) y

de la cuenca hidrográfica del río Tempisque. Con la zona urbana más importante de la provincia, la ciudad se desarrolla de manera caótica a pesar de los esfuerzos de planificación efectuados. Las ciudades vecinas, sobre todo Bagaces y Cañas, pero también otras al interior de la cuenca como Filadelfia, Santa Cruz y Nicoya siguen este mismo modelo.

Un esfuerzo de monitoreo de la calidad del agua del río Liberia fue realizado durante los años 2013 a 2015. Este permitió en primer lugar poner a prueba los índices definidos en la reglamentación ambiental de Costa Rica y en segundo lugar, de crear un conocimiento del estado y de las presiones del hidrosistema, de las presiones naturales y antropogénicas sobre el estado ecológico del cuerpo de agua. Ya sea desde el punto de vista físico-químico (PQI'CR), biológico (BMWP'CR) o bacteriológico (FCC'CR), el medio acuático presenta condiciones de poco a muy contaminadas.

El análisis de la relación entre los índices de calidad de agua y de los indicadores de presión ha mostrado la influencia del uso del suelo (a escala global) y de la condición de las riberas (a escala local) sobre la calidad de los cuerpos de agua. Hemos así caracterizado de manera precisa las presiones que impactan la condición ecológica del río, señalando en particular la influencia de la zona urbana, el vertido de la estación de tratamiento de aguas residuales, y las presiones sobre la ribera, en particular sobre el ancho, la continuidad longitudinal y la sucesión ecológica.

Las encuestas de percepción de los usuarios efectuada en el 2016 para evaluar el empoderamiento de las problemáticas de la calidad del agua del río Liberia, brindaron nuevos conocimientos sobre la relación entre el hidrosistema y, por un lado los habitantes, y por el otro, los actores económicos ribereños. El río Liberia es percibido como degradado y peligroso para la gran mayoría de los habitantes encuestados así como los actores económicos. Aunque según la percepción de la población, la mayor parte de los espacios visitados son descritos como espacios degradados, la parte alta (y en especial la zona de la naciente), algunos espacios urbanos que las personas visitan, son descritos como no degradados (por ejemplo, el área de nado y de pesca cercana a la presa para el abastecimiento de agua conocido como Saca de Agua, y un espacio privado preservado dedicado a la restauración conocido como La Cueva...)

La cartografía y el análisis de puntos de visita indican la importancia de los puntos y de la configuración urbana de la ciudad. Para los habitantes, el río es sobre todo un espacio de tránsito

y en segundo lugar un espacio de recreación. Para los actores económicos, la principal razón por la que lo visitan es la acción social a través de las campañas de limpieza y reforestación.

Emerge así la falta de empoderamiento del cuerpo de agua que permitiría de explicar en parte el proceso continuo de degradación y limitaría la forma en que son tomadas en cuenta estas problemáticas en las prioridades institucionales. No obstante, la puesta en marcha de acciones de restauración podría favorecer el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Los conocimientos de las presiones y del estado del hidrosistema derivados de los esfuerzos de monitoreo fueron retroalimentados con la información derivada de la encuesta de percepción socio-ambiental del río. Este cruce reveló una importante coherencia entre los dos sistemas de conocimientos. La localización de las estaciones de monitoreo corresponde a puntos indicados por los usuarios. Además, la percepción de los ribereños y las observaciones científicas son congruentes sobre el nivel de degradación del cuerpo de agua.

La identificación por los habitantes de puntos degradados permite también reforzar el monitoreo del sistema hidrográfico. Nuevas estaciones de monitoreo sobre el cuerpo de agua y sobre las quebradas fueron objeto de una campaña realizada en el 2017. Esta red ampliada permitió un mejor estudio de la variabilidad espacial de la calidad del agua y de las riberas en el medio urbano. El estudio más fino de la ribera permite identificar desde un punto de vista espacial, las zonas sensibles donde, por ejemplo-aún en zona urbana- las presiones de alivianan y las condiciones mejoran, así como también puntos muy alterados localizados sobre las quebradas del sistema hidrográfico. El mantenimiento de los esfuerzos de monitoreo de las riberas en las zonas reglamentarias de protección, así como el seguimiento de nuevos elementos especialmente problemáticos como los desechos sólidos y los vertidos irregulares de aguas residuales, resultan clave en las acciones futuras de control y de restauración del río y más adelante, de la revalorización y la recuperación social de estos espacios.

Este trabajo de tesis es una primera etapa que no ha permitido realizar un primer diagnóstico combinando enfoques hidrológicos y geográficos. Por lo tanto, numerosas cuestiones quedan en suspenso...

Tanto en términos de monitoreo de hidrosistemas como de monitoreo de la percepción social del estado del río, existen márgenes de mejora que pueden realizarse apuntando al reforzamiento de la acción social e institucional en los procesos de control y restauración de los cuerpos de agua. Estas márgenes de mejora inciden en la comprensión científica del conocimiento

hidrológico, de las presiones derivadas de la actividad humana, y sobre la comprensión científica de la cuestión social e incluso política.

Conforme los esfuerzos de monitoreo hidrológico se desarrollan, el efecto disponible de los datos aumenta reforzando la robustez estadística de los análisis. En todo caso, tomando en cuenta los periodos de escurrimiento, es necesario precisar y caracterizar, hasta modelizar, la dinámica hidrológica cuando ocurren eventos de precipitación y crecidas. Es entonces necesario implementar una metrología adaptada al régimen efímero de las quebradas para el seguimiento de las crecidas y de los flujos de contaminación.

A pesar de que los índices de calidad de agua han sido eficaces para determinar las presiones provenientes de la actividad humana estudiada por medio del uso del suelo, estos índices no permiten verificar otros aspectos de la calidad del agua. Esto es particularmente sensible en el caso de las aguas residuales domésticas donde las grasas y aceites, los fosfatos, los contaminantes emergentes (medicamentos, agroquímicos, microplásticos...) ejercen presiones importantes sobre el estado de la calidad del agua.

Además, dado que Liberia conoce actualmente un desarrollo inmobiliario importante, es relevante vigilar los cambios que van a ocurrir en razón de la variabilidad temporal del uso del suelo. A mediano plazo, podrían considerarse análisis diacrónicos de la relación del uso del suelo con la calidad del cuerpo de agua.

Es también necesario profundizar los conocimientos de: 1. El abastecimiento de agua por parte del AyA, las prácticas de consumo doméstico y urbano del agua y 3. del tratamiento o vertido de las aguas residuales.

Finalmente, es esperable que haya una variación temporal en la percepción social, es por lo tanto importante confortar un protocolo de encuesta que sea fácilmente replicable. Otros protocolos podrían también ser puestos prueba tales como grupos focales, “tours de plaine”, así como la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles que faciliten la colecta y la transferencia de observaciones ciudadanas.

Es fundamental dilucidar los elementos de compromiso y empoderamiento de los recursos en cuestión. Esto necesita de una comprensión del conocimiento compartido del cuerpo de agua, de los problemas de diferentes grados/tipos de participación en actividades de control y restauración. Y es finalmente esencial conocer el nivel de comprensión y de confianza en las responsabilidades y las competencias institucionales. El cuestionario de la encuesta actual provee

primeras pistas de respuesta que podrán ser cruzados con entrevistas con los actores institucionales.

Todas estas primeras perspectivas son prioritarias y contribuyen en la construcción de un sistemas de conocimientos combinado biofísico y geográfico. Una nueva hipótesis podrá entonces generarse si se busca progresar en la postura de la investigación ciudadana: las acciones de control y de restauración de los hidrosistemas que combinan la escala a la escala local la acción institucional y la acción social, pueden activar procesos de autoorganización de los sistemas socioecológicos y constituir un retorno positivo sobre el sistema global.

Références

- Abbasi, T., Abbasi, S.A., 2012. Water quality indices. Elsevier Science, Amsterdam.
- Ali, S., Ghosh, N.C., Singh, R., 2010. Rainfall–runoff simulation using a normalized antecedent precipitation index. *Hydrol. Sci. J.* 55, 266–274. <https://doi.org/10.1080/02626660903546175>
- Allan, I.J., Vrana, B., Greenwood, R., Mills, G.A., Roig, B., Gonzalez, C., 2006. A “toolbox” for biological and chemical monitoring requirements for the European Union’s Water Framework Directive. *Talanta*, 1st Swift-WFD workshop on validation of Robustness of sensors and bioassays for Screening Pollutants 69, 302–322. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.09.043>
- Allan, J.D., 2004. Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Allan, J.D., Erickson, D., Fay, J., 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshw. Biol.* 37, 149–161. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.d01-546.x>
- Alvarado, G.C., Culel, J.V., 1987. El surgimiento de un espacio urbano - Metropolitano en el valle central de Costa Rica: 1950–1980. *Anu. Estud. Centroam.* 13, 71–94.
- Anbumozhi, V., Radhakrishnan, J., Yamaji, E., 2005. Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecol. Eng.* 24, 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.01.007>
- APHA-AWWA, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22. ed. ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- AyA, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2009. Reportes mensuales de dotación de agua (2009). AyA, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Bahar, M.M., Ohmori, H., Yamamuro, M., 2008. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan. *Limnology* 9, 19–26. <https://doi.org/10.1007/s10201-007-0227-z>

- Baker, A., 2005. Land Use and Water Quality, in: Anderson, M.G., McDonnell, J.J. (Eds.), Encyclopedia of Hydrological Sciences. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa195>
- Barbour, M.T., Gerritsen, B.D., Snyder, Stribling, J.B., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish - Second Edition (No. EPA 841-B-99-002). USEPA, Washington, D.C.
- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., van de Bund, W., Zampoukas, N., Hering, D., 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. Ecol. Indic. 18, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Braje, T.J., Erlandson, J.M., 2013. Human acceleration of animal and plant extinctions: A Late Pleistocene, Holocene, and Anthropocene continuum. Anthropocene, When Humans Dominated the Earth: Archeological Perspectives on the Anthropocene 4, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.08.003>
- Brill, G., Anderson, P., O'Farrell, P., 2017. Methodological and empirical considerations when assessing freshwater ecosystem service provision in a developing city context: Making the best of what we have. Ecol. Indic. 76, 256–274. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.006>
- Brinkman, E., Seekamp, E., Davenport, M.A., Brehm, J.M., 2012. Community Capacity for Watershed Conservation: A Quantitative Assessment of Indicators and Core Dimensions. Environ. Manage. 50, 736–749. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9922-6>
- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., O'Connor, M.F., 1972. A Water Quality Index — Crashing the Psychological Barrier, in: Thomas, W.A. (Ed.), Indicators of Environmental Quality, Environmental Science Research. Springer US, pp. 173–182. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2856-8_15
- Burt, T.P., Howden, N.J.K., Worrall, F., 2014. On the importance of very long-term water quality records: Importance of long-term water quality records. Wiley Interdiscip. Rev. Water 1, 41–48. <https://doi.org/10.1002/wat2.1001>
- Camacho-Valdez, V., Ruiz-Luna, A., 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Rev. Bio Cienc. 1. <https://doi.org/10.15741/rev bio ciencias.v1i4.19>

- Canziani Amico, J., Schejtman, A. (Eds.), 2013. Ciudades intermedias y desarrollo territorial, 1. ed. ed. Fondo Editorial, Pontificia Univ. Católica del Perú, Lima.
- Carvalho, L., Cortes, R., Bordalo, A.A., 2011. Evaluation of the ecological status of an impaired watershed by using a multi-index approach. *Environ. Monit. Assess.* 174, 493–508. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1473-9>
- Chant, S., 1991. Gender, migration and urban development in Costa Rica: the case of Guanacaste. *Geoforum* 22, 237–253. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(91\)90010-N](https://doi.org/10.1016/0016-7185(91)90010-N)
- Chaskin, R.J., 2001. Building community capacity: A definitional framework and case studies from a comprehensive community initiative. *Urban Aff. Rev.* 36, 291–323.
- Chavarria Espinoza, M.I., Noches Fernandez, L., 2010. Evaluacion de los Recursos Forestales Mundiales. Informe Nacional: Costa Rica (No. FRA2010/047). Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion (FAO). Departamento Forestal, Roma.
- Coen, E., 1967. Algunos aspectos sobre climas de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José.
- Consejo Nacional de Rectores, Proyecto Estado de la Nación (Eds.), 2013. Estado de la educación costarricense, Cuarta edicion. ed. Consejo Nacional de Rectores, [San José, CR] s.l.
- Contraloria General de la Republica de Costa Rica, 2013. Informe acerca de la eficacia del Estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos (No. DFOE-AE-IF-01-2013). Contraloria General de la Republica de Costa Rica.
- Craig, L.S., Olden, J.D., Arthington, A.H., Entekhabi, S., Hawkins, C.P., Kelly, J.J., Kennedy, T.A., Maitland, B.M., Rosi, E.J., Roy, A.H., Strayer, D.L., Tank, J.L., West, A.O., Wooten, M.S., 2017. Meeting the challenge of interacting threats in freshwater ecosystems: A call to scientists and managers. *Elem Sci Anth* 5, 72. <https://doi.org/10.1525/elementa.256>
- Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature* 415, 23–23.
- Dinius, S.H., 1987. Design of an index of water quality. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 23, 833–843.

- Docile, T.N., Figueiró, R., Portela, C., Nessimian, J.L., 2016. Macroinvertebrate diversity loss in urban streams from tropical forests. *Environ. Monit. Assess.* 188. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5237-z>
- Dunnette, D.A., 1979. A geographically variable water quality index used in Oregon. *J. Water Pollut. Control Fed.* 51, 53–61.
- Espejo, L., Kretschmer, N., Oyarzún, J., Meza, F., Núñez, J., Maturana, H., Soto, G., Oyarzo, P., Garrido, M., Suckel, F., Amezaga, J., Oyarzún, R., 2012. Application of water quality indices and analysis of the surface water quality monitoring network in semiarid North-Central Chile. *Environ. Monit. Assess.* 184, 5571–5588. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2363-5>
- Espiella, C.D. la, 2007. ¿Una vivienda social incluyente en Liberia? El caso de una ciudad intermedia de Costa Rica. *Rev. INVI* 22. <https://doi.org/10.4067/invi.v22i59.289>
- European Commission, Directorate-General for the Environment, 2014. La Directive-cadre européenne sur l'eau.
- Fallas G., J., Sativsky, B., 1996. Uso y Cobertura de la Tierra en Costa Rica para 1992: Una Aplicacion de Teledeteccion Espacial y Sistemas de Informacion Geografica. *Rev. Geogr. Am. Cent.* 131–142.
- Farnham, D.J., Gibson, R.A., Hsueh, D.Y., McGillis, W.R., Culligan, P.J., Zain, N., Buchanan, R., 2017. Citizen science-based water quality monitoring: Constructing a large database to characterize the impacts of combined sewer overflow in New York City. *Sci. Total Environ.* 580, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.116>
- Fernández Moreno, Y., 2008. ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral Guadalaj.* 15, 179–202.
- Fierro, P., Bertrán, C., Tapia, J., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Vergara, C., Cerna, C., Vargas-Chacoff, L., 2017. Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages. *Sci. Total Environ.* 609, 724–734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.197>
- Goldstein, R.M., Carlisle, D.M., Meador, M.R., Short, T.M., 2006. Can Basin Land Use Effects on Physical Characteristics of Streams Be Determined at Broad Geographic Scales? *Environ. Monit. Assess.* 130, 495–510. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9439-7>

- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M.Á., López-Ríos, G.F., 2005. Ecología de las zonas ribereñas. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Ambiente* 16.
- Greider, T., Garkovich, L., 2010. Landscapes: The Social Construction of Nature and the Environment. *Rural Sociol.* 59, 1–24. <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.1994.tb00519.x>
- Guier Serrano, E., Rodriguez Morales, M., Zúñiga Chaves, M.E., 2016. Educación Ambiental en Costa Rica: tendencias evolutivas, perspectivas y desafíos. *Biocenosis* 18.
- GWP Centroamerica, 2017. La situacion de los recursos hidricos en centroamérica: Hacia una gestion integrada.
- Hardin, G., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science* 162, 1243–1248. <https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Hawkes, H.A., 1998. Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water Res.* 32, 964–968. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3)
- Heink, U., Kowarik, I., 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecol. Indic.* 10, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Horton, R.K., 1965. An index number system for rating water quality. *J. Water Pollut. Control Fed.* 37, 300–306.
- House, M.A., 1990. Water quality indices as indicators of ecosystem change. *Environ. Monit. Assess.* 15, 255–263. <https://doi.org/10.1007/BF00394892>
- IMN-Instituto Meteorologico Nacional, 2016. Climatologia aeronautica: Aeropuerto Internacional Daniel Oduber Quiros (COSTA RICA) [WWW Document]. URL <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/38326/Climatolog%C3%ADa+del+Aeropuerto+Daniel+Oduber+%28Liberia%29/21b01b3d-699f-463d-a2d0-06606fe9f609> (accessed 7.13.18).
- IMN-Instituto Meteorologico Nacional, 2008. El clima, su variabilidad y cambio climatico en Costa Rica. Comité Regional de Recursos Hidraulicos, San Jose, Costa Rica.
- INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2015. Anuario Estadístico 2012 - 2013 “Compendio de datos actualizados del país.” INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censo, San Jose, Costa Rica.

- Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2017. Mosaico de Hojas Topográficas a escala 1:50000 (Costa Rica) [WWW Document]. URL http://www.snitr.go.cr/Metadatos/full_metadata?k=Y2FwYTo6SUdOX1JBU1RFUjo6SE9KQVNfNTA= (accessed 10.16.18).
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2015. AtlasCR2014.
- ITCR-Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2015. AtlasCR2014.
- Jacobsen, D., 2008. 8 - Tropical High-Altitude Streams, in: Dudgeon, D. (Ed.), *Tropical Stream Ecology, Aquatic Ecology*. Academic Press, London, pp. 219–VIII.
- Janzen, D.H., 1991. *Historia natural de Costa Rica*. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Johnson, L.B., Host, G.E., 2010. Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems. *J. North Am. Benthol. Soc.* 29, 41–66. <https://doi.org/10.1899/09-030.1>
- Jorge Arturo Abarca Garbanzo, 2002. *Sistema Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Liberia, Guanacaste, Costa Rica (Proyecto Regional)*. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S.R., Khan, S.P., 2007. Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment. *Environ. Monit. Assess.* 132, 93–110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Kohler, M.A., Linsley, R.K., 1951. *Predicting de runoff from storm rainfall*. Weather Bur. US Dept Commer.
- Krause, S., Jacobs, J., Voss, A., Bronstert, A., Zehe, E., 2008. Assessing the impact of changes in landuse and management practices on the diffuse pollution and retention of nitrate in a riparian floodplain. *Sci. Total Environ.* 389, 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.08.057>
- Lalande, N., 2013. *Multiscale impacts of land uses on river ecological status - Design and implementation of an analysis and modelling framework (Thèse doctorale)*. AgroParisTech.
- Lalande, N., Cernesson, F., Decherf, A., Tournoud, M.-G., 2014. Implementing the DPSIR framework to link water quality of rivers to land use: methodological issues and

- preliminary field test. *Int. J. River Basin Manag.* 12, 201–217.
<https://doi.org/10.1080/15715124.2014.906443>
- Lammert, M., Allan, J.D., 1999. Assessing biotic integrity of streams: Effects of scale in measuring the influence of land Use/Cover and habitat structure on fish and macroinvertebrates. *Environ. Manage.* 23, 257–270.
<https://doi.org/10.1007/s002679900184>
- Lefebvre, H., 1974. La production de l'espace, Paris. *Anthropos* 420.
- Li, K., Chi, G., Wang, L., Xie, Y., Wang, X., Fan, Z., 2018. Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality. *Ecol. Indic.* 93, 741–752. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.030>
- Loelkes, G.L., (U.S.), G.S., 1983. Land use/land cover and environmental photointerpretation keys. U.S. Dept. of the Interior, Geological Survey.
- Losilla, M. (Ed.), 2001. Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central, 1. ed. ed. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Lovett, S., Price, P., 1999. Riparian land management technical guidelines. Land and Water Resources Research and Development Corp. (LWRRDC), Canberra.
- Martínez, T., Agüero, K.R., 2014. Treinta años de Metamorfosis Urbana Territorial en el Valle Central. *Programa Estado Nación Para El Desarro. Hum. Sosten.* 41.
- Mende, A., Astorga, A., Neumann, D., 2007. Strategy for groundwater management in developing countries: A case study in northern Costa Rica. *J. Hydrol.* 334, 109–124.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.016>
- MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia, 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Diario Oficial La Gaceta.
- Ministerio de Ambiente y Energia, 2008. Plan Nacional Para la Gestion Integrada de Recursos Hidricos.
- Miserendino, M.L., Casaux, R., Archangelsky, M., Yanina Di Prinzio, C., Brand, C., Mabel Kutschker, A., 2011. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Sci. Total Environ.* 409, 612–624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.034>
- Mohs, E., 1983. La salud en Costa Rica, 1a ed. ed. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.

- Montoya, J. Williams, 2009. Globalización, dependencia y urbanización: la transformación reciente de la red de ciudades de América Latina. *Rev. Geogr. Norte Gd.* <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000300001>
- Mora Alvarado, D., Portuguese, C.F., 2012. Calidad del agua en sus diferentes usos en Guanacaste - Costa Rica al año 2011. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados-AyA, San José, Costa Rica.
- Morais, M., Pinto, P., Guilherme, P., Rosado, J., Antunes, I., 2004. Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. *Hydrobiologia* 516, 229–249. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000025268.66163.32>
- Morley, S.A., Karr, J.R., 2002. Assessing and Restoring the Health of Urban Streams in the Puget Sound Basin. *Conserv. Biol.* 16, 1498–1509. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01067.x>
- Municipalidad de Liberia, n.d. Historia del cantón de Liberia [WWW Document]. URL <https://www.muniliberia.go.cr/muni/std/92/canton-de-liberia> (accessed 3.31.17).
- Nash, M.S., Heggem, D.T., Ebert, D., Wade, T.G., Hall, R.K., 2009. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon. *Environ. Monit. Assess.* 156, 343–360. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0489-x>
- Nikolaeva, S., Moraga, G., Saravia, A.Y., Herrera, J.P., 2018. Distrito Liberia: situación hídrica ante el cambio climático y el desarrollo sostenible. Universidad Nacional.
- NOAA National Data Centers, 2015. LIBERIA, CSGHCN-Daily CSV. US Department of commerce.
- Novotny, V., Bartošová, A., O'Reilly, N., Ehlinger, T., 2005. Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Res.* 39, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.09.002>
- Ostrom, E., 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science* 325, 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Paul, M.J., Meyer, J.L., 2001. Streams in the Urban Landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32, 333–365.
- Peláez, S.M., 1970. La patria del criollo 1766.

- Pingault, N., Préault, B., 2007. Indicateurs de développement durable: un outil de diagnostic et d'aide à la décision. *Notes Études Économiques* 28, 7–43.
- PNUD-FOMUDE (Ed.), 2009. Plan de Desarrollo Humano Local : Canton de Liberia 2011-2020.
- Prati, L., Pavanello, R., Pesarin, F., 1971. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Res.* 5, 741–751. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(71\)90097-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(71)90097-2)
- Proyecto Estado de la Nación (Costa Rica), 2016. Quinto informe Estado de la Región en desarrollo humano sostenible, 2016: un informe desde Centroamérica y para Centroamérica.
- Ramos, M.A.G., Bueno de Oliveira, E.S., Pião, A.C.S., Nalin de Oliveira Leite, D.A., de Franceschi de Angelis, D., 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environ. Monit. Assess.* 188. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5261-z>
- Reynolds, T.D., Richards, P.A., 1996. Unit operations and processes in environmental engineering, 2. ed. ed, PWS series in engineering. PWS Publ. Co, Boston.
- Rivière-Honegger, A., Cottet, M., Morandi, B., 2014. Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? ONEMA, France.
- Rodríguez, A.S., 2009. Código de legislación ambiental costarricense, 1a ed. ed. Vequi del Norte, San Jose.
- Rodríguez, D.A., 2014. El Ordenamiento territorial y marino en Costa Rica: pasos a la formalización como política de Estado. *Progrtama Estado Nac.* 95.
- Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J.A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M.J., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R., 2010. Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water Res.* 44, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.004>
- Sanchez, L., 2017. Regiones periféricas y ciudades intermedias en Costa Rica. Programa Estado Nación Para El Desarro. Hum. Sosten.
- Sánchez Molina, V., 2003. Gestión ambiental participativa de microcuencas: fundamentos y aplicación: el caso de la Quebrada Salitral, Costa Rica, 1. ed. ed. EUNA, Heredia, Costa Rica.

- Santos, C.U., Barrientos, Z., Santos, C.U., Barrientos, Z., 2017. Social perception and environmental behavior of communities near a tropical urban river in Costa Rica. *Cuad. Investig. UNED* 9, 127–134.
- Scrimgeour, G.J., Kendall, S., 2003. Effects of livestock grazing on benthic invertebrates from a native grassland ecosystem. *Freshw. Biol.* 48, 347–362. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.00978.x>
- SINAC - Sistema Nacional de Áreas de Conservación, PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015. Manual de procedimientos para atender eventos de daño ambiental sobre el recurso hídrico, Proyecto Humedales, SINAC/PNUD. SINAC - Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Heredia.
- Sliva, L., Dudley Williams, D., 2001. Buffer Zone versus Whole Catchment Approaches to Studying Land Use Impact on River Water Quality. *Water Res.* 35, 3462–3472. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00062-8)
- Solano, J., 1996. Aspectos fisiográficos básicos para las principales regiones de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, San José.
- Solano Quintero, J., Villalobos Flores, R., 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. *Top. Meteorol. Oceanogr.* 8, 26–39.
- Springer, M., Ramirez, A., Hanson, P., 2010a. Manual de Macroinvertebrados Acuáticos de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.*
- Springer, M., Ramirez, A., Hanson, P., 2010b. Manual de Macroinvertebrados Acuáticos de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.*
- Strobl, R.O., Robillard, P.D., 2008. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *J. Environ. Manage.* 87, 639–648. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001>
- Suárez Serrano, A., Morera Beita, C., Blanco Peña, K., Universidad Nacional (Costa Rica) (Eds.), 2015. Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y perspectivas desde la UNA, Primera edición. ed. EUNA, Heredia, Costa Rica.
- Tánago, M.G. del, Lastra, D.G. de J., 2011. Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica* 30, 235–254.

- Taylor, B., de Loë, R.C., 2012. Conceptualizations of local knowledge in collaborative environmental governance. *Geoforum* 43, 1207–1217. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.03.007>
- Theodoro Mezger, 2016. Implicaciones sociales, económicas y ambientales del modelo de ciudad vigente en la GAM (No. Vigésimo segundo informe), Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible Humano. Consejo Nacional de Rectores (CONARE), San Jose, Costa Rica.
- Universidad Nacional, 2018. Datos meteorológicos estación Hidrocec. Liberia.
- Uuemaa, E., Mander, Ü., Marja, R., 2012. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecol. Indic.* 28, 100–106.
- Valdés Torres, M., 2010. Las áreas de protección del Artículo 33 de la Ley Forestal - El caso de la quebrada Los Negritos en el sector de Montes de Oca (Tesis para optar por el grado académico de Licenciatura en Derecho). Universidad de Costa Rica.
- Valverde Marín, V., 2012. Análisis y Propuesta de Ampliación del Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Liberia – Guanacaste. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Villalobos Flores, R., Jimenez Rodriguez, E., Hernandez Espinoza, K., Cordoba Peraza, J., Solano Mora, P., 2013. Descripción del Clima del Canton de Liberia. Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- World Meteorological Organization (Ed.), 2013. Planning of water-quality monitoring systems, Technical report series. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT - AGROPARISTECH

N°: 2018AGPT0014

En Sciences de l'Eau

École doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau – n°584
Portée par l'Université de Montpellier

Unité de recherche TETIS n°9000

Qualité des eaux d'une rivière urbaine : Suivi réglementaire versus Perception des riverains Le cas du río Liberia (Costa Rica)

ANNEXES

Présentée par Christian GOLCHER BENAVIDES
Le 4 décembre 2018

Sous la direction de Marie-George TOURNOUD
et Flavie CERNESSON

Devant le jury composé de

Mme Marie-George TOURNOUD, Professeure, Université de Montpellier

Mme Flavie CERNESSON, Maître de Conférences HDR, AgroParisTech

M Christophe CUDENNEC, Professeur, AgroCampus Rennes

M Narcís PRAT FORNELLS, Professeur, Universitat de Barcelona

M Christian SALLES, Maître de Conférences HDR, Université de Montpellier

Mme Catherine CARRÉ, Professeure, Université Paris I

Mme Muriel BONIN, Cadre Scientifique, CIRAD

M Fernando SAENZ SEGURA, Investigador y docente CINPE, Universidad Nacional de Costa Rica

Directrice de thèse

Co-Directrice de thèse

Rapporteur

Rapporteur

Membre du jury

Présidente du jury

Invitée et co-encadrante
de thèse

Invité

I. Annexes

Annexe 1 : Évaluation de la ripisylve et la qualité de l'eau du bassin versant du Río Liberia, Guanacaste. Costa Rica (IS Rivers 2015).

Annexe 2 : Occupation du Sol au Bassin Versant du río Liberia : Définition d'une typologie adaptée

Annexe 3 : Efficiency of regulatory water quality indexes to assess anthropic pressures: Application to a Costa Rican river (Rio Liberia).

Annexe 4 : Fiches des points de fréquentation et de dégradation perçue des quartiers de la zone d'étude

Annexe 5 : Bringing together riverside citizen perception and scientific monitoring to better describe water quality: Case of Liberia River (Costa Rica) (IS Rivers 2018).

Annexe 6 : Dégradation environnementale et manque d'appropriation du Rio Liberia, Costa Rica : Analyse des fréquentations des habitantes et des acteurs économiques riverains et de leurs perceptions de la dégradation de la rivière (Anthropocène dans les tropiques, 2018).

Annexe 7 : Pistas sobre el conocimiento y el compromiso ciudadano.

**Annexe 1 : Évaluation de la ripisylve et la qualité de l'eau du bassin versant du
Río Liberia, Guanacaste. Costa Rica (IS Rivers 2015).**

Évaluation de la ripisylve et de la qualité de l'eau du bassin versant de Río Liberia, Guanacaste, Costa Rica

Water quality and riparian areas evaluation at the Liberia River Basin, Guanacaste, Costa Rica

Andrea Suárez¹, Christian Golcher¹, Daniela Rojas¹, Álvaro Baldioceda¹

¹Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y El Caribe (Hidrocec-UNA)
–Campus Liberia, Universidad Nacional. Guanacaste, Costa Rica

RÉSUMÉ

L'aménagement du territoire aux bassins versants qui présentent une combinaison d'aires naturelles, ruraux et urbaines, requièrent d'information scientifique claire qui permette l'action coordonnée du secteur public, privée et des secteurs civils. Notre objectif fut d'évaluer la condition naturelle du Río Liberia durant l'an 2013 et 2014 afin d'offrir information sensible et utile aux acteurs participants dans l'aménagement de l'eau et du territoire lié à la rivière. Pour cela des indices normalisés et adaptés à cette région du Costa Rica sont appliqués permettant de caractériser l'état de contamination chimique (Indice Hollandais) et biologique (BMWP-CR) des eaux ainsi que l'état des aires rivulaires (RQI). Sept points de mesure situés sur les parties haute et médiane du bassin versant sont utilisés au long de l'année à travers la saison sèche et humide, et ses saisons intermédiaires. Les résultats des différents indices appliqués pendant la période montrent que la condition naturelle est relativement bonne jusqu'à ce qu'elle pénètre dans l'aire urbaine de Liberia. On observe ensuite une contamination croissante tout au long de la traversée de la ville, qui atteint un niveau critique des derniers points de mesure. La partie haute du bassin requière mesures pour la conservation des sols tandis que la partie médiane requière d'actions de remédiation, assainissement des eaux, aménagement des déchets et de planification urbaine.

ABSTRACT

Watershed management in areas nurturing natural, rural and urban areas requires reliable and clear information in order to facilitate coordinated action between the public, the private and the civil sector. Our main objective was therefore, to evaluate through indexes the natural condition of the Liberia River, generating useful information to land and water resource management to stakeholders on its territory. In order to characterize and assess the ecological status of the aquatic system at the upper and middle part of the Liberia River basin, three water quality indexes and one assessing riparian areas were applied: 1) the "Dutch Index for Quality of Surface Water Bodies" (DI); 2) the Biological Monitoring Working Party index modified for Costa Rica (BMWP-CR); and 3) The Riparian Quality Index (RQI). This assessment was performed on 2013 and 2014, including dry and humid seasons and their transitions, through seven sampling points established according to the current land use at the basin. The middle part of the watershed presents the highest impact due to effects of point pollution and nonpoint especially by the impacts of urban settlements in Liberia City. All indexes applied were congruent about ecological condition of the Liberia River. Soil conservation measures need to be taken in the upper watershed, while in the lower sites, actions are required in remediation, wastewater management, land planning and solid waste management.

MOTS CLES

Aménagement du territoire, bassins versants, écosystèmes aquatiques, réseau de mesures, prise de décision

1 PROGRAMME D'OBSERVATIONS AU RIO LIBERIA

Dans l'objectif d'évaluer la condition naturelle du río Liberia et l'impact des différentes activités humaines sur le territoire du sous-bassin versant, un programme d'observation de l'écosystème aquatique fut menée prenant en compte le régime des précipitations, inclut notamment l'étude de la morphologie de la rivière et de la ripisylve associée, ainsi que la qualité chimique et biologique de ses eaux. Sont évalués :

- La condition des berges et de la ripisylve, au travers de l'indice RQI (Riparian Quality Index)
- L'évolution de paramètres chimiques à travers de l'Indice Hollandais.
- La présence de bioindicateurs de qualité des eaux, grâce à la collecte de macroinvertébrés permettant l'application de l'indice BMWP-CR (Biological Monitoring Working Party, adapté à la faune du Costa Rica).

1.1. Points de surveillance sur le río Liberia

Sept points de mesure positionnés stratégiquement selon les différents paysages traversés au long du parcours du río Liberia et d'après la description spatiale réalisée depuis la partie haute jusqu'à la limite aval de la partie médiane de son sous-bassin versant. Afin de pouvoir mettre en relation l'état de dégradation du río Liberia et les diverses activités humaines, une couche d'occupation du territoire fut réalisée permettant la catégorisation des espaces suivants : i. agricole de moyenne intensité ; ii. agricole intensive ; iii. bois ; iv. bois de berge ; v. bois secondaires ; vi. pâturages et sylvopâturages ; vii. terres arides et viii. Urbanisation



Figure 1 : Occupation du sol et points de surveillance du sous-bassin versant du río Liberia (Détail dans la section moyenne).

1.1.1. Caractérisation des corridors rivulaires (Indice RQI)

L'état écologique des corridors rivulaires est évalué à travers de sept attributs : i. la continuité longitudinale de la végétation ligneuse ; ii. la profondeur de la bande occupée par la ripisylve sur les berges ; iii. la composition et la structure de la ripisylve ; iv. la régénération naturelle des principales espèces ligneuses ; v. la condition morphologique des berges ; vi. la connectivité transversale du cours d'eau avec ses rives et la plaine d'inondation et vii. la connectivité verticale, à travers de la perméabilité et l'état de dégradation des sols constitutifs des aires rivulaires.

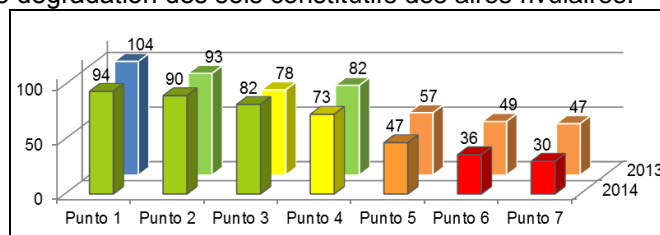


Figure 2 : Comparaison des résultats obtenus en 2013 et 2014

1.1.2. Biosurveillance par collecte de macroinvertébrés (Indices BMWP-CR)

L'indice Biological Monitoring Working Party adapté pour le Costa Rica (BMWP-CR), permet de

mesurer la qualité de masses d'eau douce en utilisant des familles de macroinvertébrés en tant que bioindicateurs : cette méthodologie se base sur le fait que les différents macroinvertébrés possèdent différents niveaux de sensibilité à la pollution organique de l'eau. Les indices BMWP-CR fût appliqué deux fois sur la période de en juin et juillet 2014 :

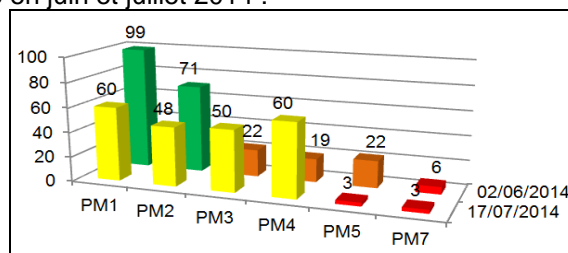


Figure 3 : Résultats de l'application de l'indice BMWP-CR le 02/06/14 et le 17/07/14

1.1.3. Surveillance de la qualité chimique de l'eau pour 2013 (L'Indice Hollandais)

La réglementation pour l'évaluation et la classification de la qualité des masses d'eau superficielles établit comme instrument de surveillance le système de l'Indice Hollandais d'Evaluation de Qualité des Eaux des Milieux Récepteurs. Les analyses des échantillons d'eau effectuées pour chaque point de surveillance ont été réalisées selon les méthodologies décrites pour chacun des paramètres évalués nécessaires pour l'obtention de l'indice hollandais, c'est-à-dire : la demande biochimique d'oxygène (DBO5), le nitrogène ammoniacal et l'oxygène dissous exprimé par son pourcentage de saturation:

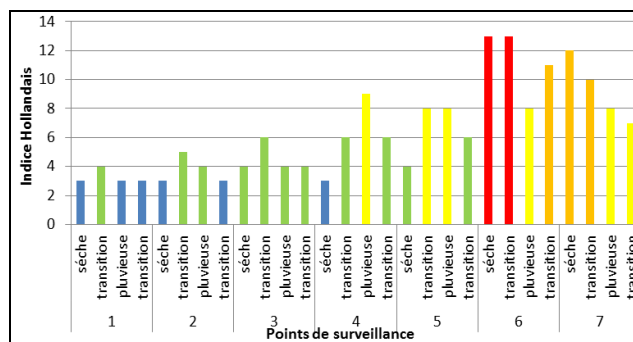


Figure 4 : Résultats de l'application de l'indice hollandais pour l'an 2013

1.2. Conclusion : Observations au río Liberia

Le río Liberia est une rivière semi-artificielle que les activités humaines soumettent à de nombreuses et importantes altérations. La morphologie naturelle du cours d'eau a été définitivement modifiée par la canalisation de la source et des derniers kilomètres de son parcours, et l'état de contamination des eaux va croissant au cours de la traversée de la ville de Liberia, jusqu'à atteindre des niveaux extrêmes au niveau des points situés à l'aval du rejet effectué par la station de traitement des eaux résiduaires urbaines qui s'avère être la principale source de pollution du cours d'eau.

Il a été possible de mettre en évidence la relation entre l'état de pollution et les différentes activités localisées de part et d'autre de la rivière sur les parties amont et médiane du bassin versant, grâce à l'application d'indices normalisés qui mettent l'accent sur les différents aspects de la qualité des eaux et des zones rivulaires.

L'existence d'institutions fortes chargées de la gestion de l'aménagement des territoires et de la protection des ressources naturelles et les réglementations visant à protéger les ressources hydriques existent au Costa Rica mais, on note l'absence de sanctions pour les acteurs qui les transgressent, ce qui explique que la réglementation nationale n'est actuellement que faiblement appliquée.

BIBLIOGRAPHIE

- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard methods for the examination of water and freshwater. Washington: American Public Health Association.
- Jhonson, L. B., & Cage, S. H. (1997). Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 37, 113-132.
- Springer, M., Ramírez, A., & Hanson, P. (2010, Diciembre). Macroinvertibrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Supl.4), 3-238.

Annexe 2 : Occupation du Sol au Bassin Versant du río Liberia : Définition d'une typologie adaptée

1.1 Occupation du Sol au Bassin Versant du río Liberia : Définition d'une typologie adaptée

1.1.1.1 Introduction

Ce travail répond au besoin de réaliser une cartographie détaillée de l'occupation du sol du bassin versant du río Liberia à échelle 1 :10 000, afin d'identifier les pressions exercées par l'activité humaine sur la condition écologique de la rivière. Les principaux exercices cartographiques nationaux de l'occupation du sol se sont réalisés à échelles larges qui ne sont pas tout à fait adéquates pour la compréhension de sous-bassins. Cependant, l'évolution de la typologie nationale se présente comme le premier modèle de référence lors du développement de ce travail, pour ensuite, après l'analyse du territoire et ses particularités, pouvoir achever à une typologie hiérarchisée en trois niveaux, convenable à l'échelle, et aux caractéristiques de la zone d'étude.

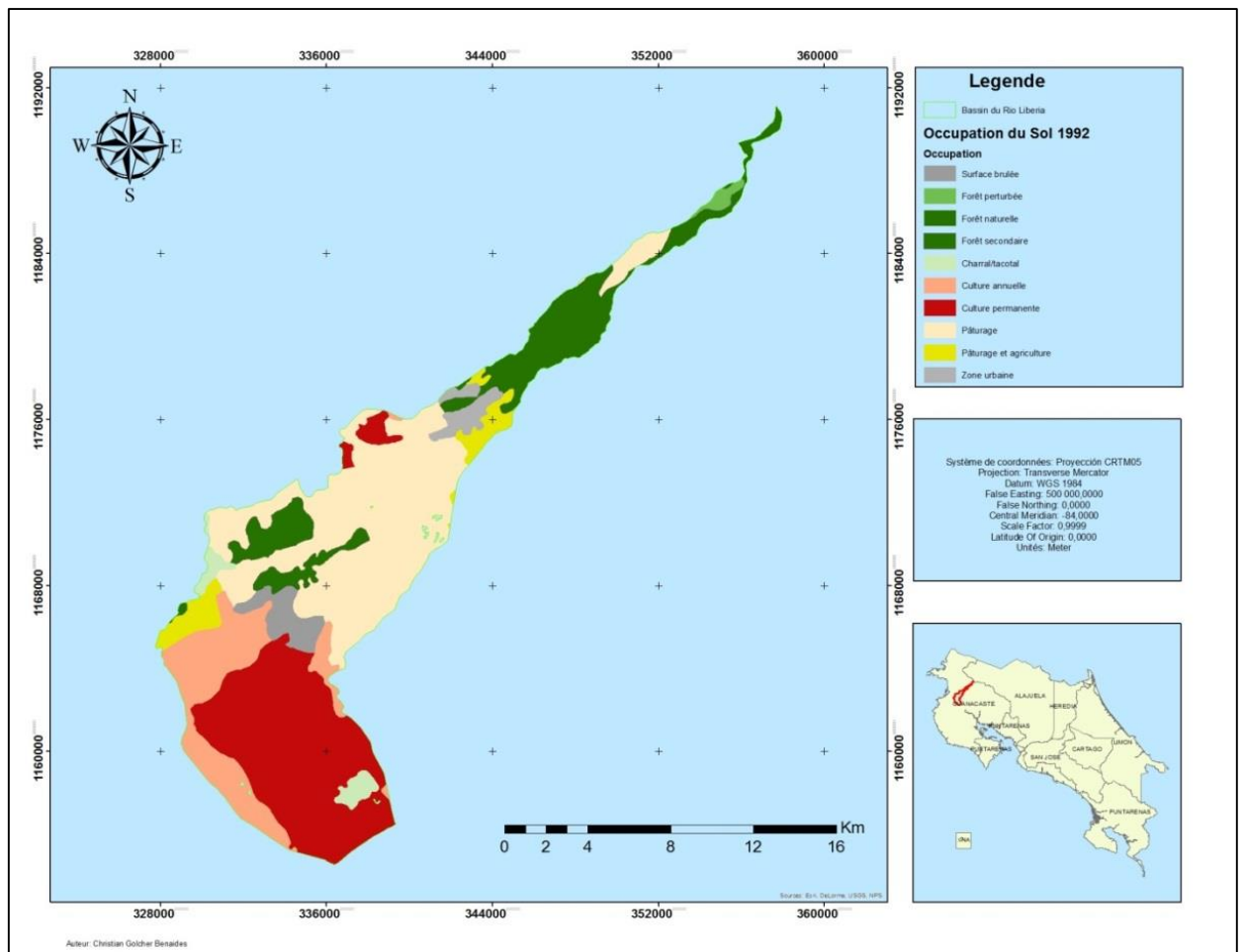
Après une brève description des antécédents sur la typologie de l'occupation du sol, se présente les définitions conventionnelles des classes nationales d'occupation du sol et sont identifiées les classes pertinentes sur la zone d'étude. L'analyse de la forme d'anthropisation des espaces, permet d'établir un premier niveau typologique à quatre classes, qui ensuite se subdivisent en deux niveaux tout en considérant aspects hydrologiques. Cette typologie est appliquée sur la zone d'étude avec chacun des trois niveaux résultant en trois cartes d'occupation du sol présentées à la fin de ce travail comme annexes, plus une carte de l'hydrologie où sept sous-bassins ont été tracés par rapport à sept stations de mesure de la qualité de l'eau. En troisième temps, le document offre une première description de l'occupation du sol sur les trois niveaux.

La zone d'étude présente en générale une prédominance des espaces naturels ou semi-naturels (63,65% vs, 19,19% Agricole, 16,32% Urbain et 0,84% en infrastructure de transports). Cependant, très vite (-53,97%) entre le 3ème et le 6ème sous-bassin, ce type d'espace est remplacé par l'urbanisation et l'agriculture de pâturages et cultures annuelles qui finissent par prédominer en aval. La couverture végétale des sous-bassins urbanisés est surtout proportionnée par les charrales et les tacotales (zones défrichées) qui accompagnent les cours d'eau en tant que végétation riveraine.

1.1.1.2 Antécédents : La typologie costaricienne de l'occupation du sol

Les principaux efforts de cartographie de l'occupation du sol au Costa Rica ont été réalisés entre dirigés par l'Institut Géographique National (IGN) pour les ans 1979, 1986-87, 1992, 1996-97, 2000 et 2005. Le long de ces travaux, la typologie utilisée de l'occupation a évolué à travers le temps ce que signifie également qu'elle a été modifiée et reste encore inconsistante jusqu'à présent. Cette évolution est décrite sur le rapport sur l'évaluation des ressources forestiers (Chavarria Espinoza and Noches Fernandez, 2010) pour l'Organisation de l'Agriculture et l'Alimentation des Nations Unies (FAO) et présente la classification officielle nationale de l'occupation avec la définition correspondante à chaque classe dite nationale. Lors de l'élaboration de la cartographie de l'occupation du sol et de la couverture de la terre du Costa Rica pour l'an 1992, on intégra la cartographie analogique datant de 1985 à échelle 1 :200 000 et des images digitales LANDSAT des ans 1991 et 1993.

Les données de 1992 sont disponibles sur l'AtlasCR2014Ver1.1 (Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2015) et permettent de réaliser la carte suivante de l'occupation du sol de 1992 pour le bassin du río Liberia, où l'on distingue 10 classes d'occupation du sol présentes sur le bassin. Quatre d'entre elles correspondent à des à couverture végétale non agricole, quatre correspondent à des espaces agricoles, une aux sols découverts et une au milieu urbain.



Occupation du sol de 1992 du bassin du río Liberia (Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2015)

Table

Typologie de l'occupation du sol faite par l'Institut Géographique National lors des efforts cartographiques de 1984 et 1992 (Fallas G. and Sativsky, 1996).

Classes de 1984 (IGN)	Clases 1992 (IGN)
Urbain	Urbain
Agricole	Agricole
Pâturage	Pâturage
Charral/forêt secondaire	Inclut dans forêt ou pâturage
Forêt	Forêt
Zones Humide	Zone Humide
Palmes Naturelles	Inclues dans zones humides
Mangrove	Mangrove
Sol découvert, roches	Sol découvert, roches

Eau

Eau

Non classifié, mélange d'occupation/couverture, déboisé.

La classification nationale de l'occupation du sol plus détaillé et récente trouvé jusqu'à présent établie par L'IGN a été décrite pour l'élaboration du rapport à la FAO sur les ressources forestiers du pays (Chavarria Espinoza and Noches Fernandez, 2010). Cette classification définie l'occupation du sol sur le territoire costaricien tout en préservant les noms traditionnels et autochtones des particularités de la géographie costaricienne. Le tableau suivant présente cette classification avec ses définitions signalant en troisième colonne les classes retenues sur la typologie de ce travail en correspondance aux caractéristiques présentes sur le bassin du río Liberia.

Table

Classification nationale de l'occupation du sol et ces définitions

Classe nationale	Définition	Retenu
Surface Brulée	Surface brulée périodiquement pendant la saison sèche pour la réalisation d'activités agricoles ou d'élevage ; dans quelques cas, affectant les surface de forêt. Cette catégorie fut considérée uniquement pour l'an 1992 ; avec la vérification sur le terrain.	✓
Forêt Perturbée	Surfaces qui présentent les mêmes caractéristiques de la forêt naturelle, mais avec des petits espaces ouverts, où se développent activités humaines (élevage, agriculture familiale, agroforesterie, entre autres), étant celles-ci les premières expressions de l'intervention et dégradation de la forêt naturelle.	✓
Forêt Naturelle	Couverture végétale composées par espèces à tige et tronc ligneuse ; qui se trouve tantôt dans la forêt tropicale humide comme dans la forêt tropicale sèche. La forêt pluvieuse est très dense, auquel on peut distinguer trois strates principales. La canopée ou strate supérieur est discontinue, composé de quelques arbres grands et normalement isolés, avec grandes couronnes qui s'émargent depuis les 40 à 45 mètres du sol. La strate intermédiaire présente des arbres qu'atteint une hauteur de 20 à 25 mètres, avec des couronnes pressionnées les unes avec les autres. La strate inférieure est	✓

composée d'arbres et arbustes dont les couronnes occupent tout l'espace rémanent. Beaucoup d'espèces de lianes abondent la forêt pluvieuse primaire. Quelques surfaces représentatives en sont : la Cordillère Volcanique Centrale, la Péninsule d'Osa, la Cordillère de Talamanca et Monteverde.

La forêt tropicale sèche présente une précipitation inférieure aux 1 100 mm en moyenne annuelle et sa valeur maximale est de 1 500 mm annuels. Le rang de température moyenne annuelle varie approximativement entre 24,0°C et 27,8°C. La période sèche consécutive est de 6,5 mois par an.

La strate supérieure de la communauté de la forêt tropicale sèche, dans sa condition naturelle inaltérée, à une hauteur de 20 à 25 mètres et la majorité de ses espèces sont décidues durant la période sèche. Ses fûts sont majoritairement gros et massifs. Beaucoup de ses espèces possèdent des aiguillons, épines ou écorces rêches. Ce sont des forêts peu denses et les épiphytes sont peu nombreuses. Le feu est un facteur dominant de ces forêts tropicales.

Charral/Tacotal	C'est le premier stade de croissance des espèces dans un processus de régénération naturelle des surfaces abandonnées par les activités agricoles ou d'élevage. L'âge de croissance des espèces est de 0 à 2 ans. Il est composé de plantes herbacées et ligneuses qui ne surpassent pas les cinq mètres.	✓
Culture Annuelle	Cultures qui présentent un cycle végétatif (germination, inflorescence, fructification et senescence) d'un an ou moins et seulement produisent une récolte durant cette période ; parmi ceux se trouvent : le coton, la pomme de terre, les légumes et les grains.	✓
Culture Permanente	Cultures qui présentent un cycle végétatif de plus de deux ans avec pendant cette période plus de deux récoltes ; parmi ceux : la canne à sucre (qui est coupée ou brulée, mais le rhizome reste dans le sol pour régénérer), le café, la banane, la palme d'huile et les agrumes.	✓

Zones	Ecosystème à dépendance des régimes aquatiques, naturels ou artificiels ; permanents ou temporels, lenticques ou lotiques ; doux, salobres ou salées, incluant les extensions marines jusqu'à la limite supérieure des phanérogames marines ou récifs coralliens ou dans son absence jusqu'à 6 mètres de profondeur en marée basse. Au Costa Rica on en trouve à Caño Negro, Tortuguero, Palo Verde et la Zona Norte.	x
Humide/Marais		
Lacune/Barrage	Les barrages sont des corps d'eau artificiels et statiques destinés principalement à la production d'énergie. Les barrages Arenal à Guanacaste et Cachí à Cartago, sont des exemples de surfaces facilement cartographiables. Les lacunes sont des dépôts d'eau naturels. Quelques-unes d'entre elles sont dynamiques car elles sont connectées avec une rivière, par exemple : la lacune de Corcovado et la lacune de Caño Negro. D'autres comme les lacunes de cratère sont plutôt relativement statiques.	x
Mangrove	Les mangroves sont des regroupements d'arbres, arbustes et buissons de plusieurs familles sans relation qui se caractérisent être.	x
ND	Non déterminé	x
Paramo	Communauté végétative composée par lichen et mousses accompagnée par fougères arborescentes et quelques espèces arbustives à feuilles très coriaces. Il présente un rang de précipitation annuel de 2 300 à 3 500 mm et une température que peu descendre à -2°C (aux régions les plus fraîches du Costa Rica). Ces communautés végétales se trouvent spécifiquement dans les hautes zones ouvertes de la Cordillère de Talamanca.	x
Pâturage	Formations végétales composées par graminacées qui sont considérées dominantes des herbes et occasionnellement accompagnés d'arbres et arbustes répandues. Souvent dédiées à l'élevage extensif mais dans quelques cas n'impliquent aucune activité.	✓
Pâturage et Agriculture	Petite surface de pâturage et agriculture pouvant être annuelle ou permanente, intercalées en pourcentages similaires.	x

Sol Découvert	Terrains découvert affecté par tremblements de terre ou importants glissements de terrain.	✓
Terrain Rocheux	Surfaces exposées qui ne présentent pas de conditions aptes pour l'agriculture ou l'élevage car le sol est couvert par importantes coulées de lave, caractérisées par l'ignimbrite, tuffeau et basalte, ou roches exposées avec une sorte de végétation herbacée et arbustive pauvrement développée. Ces unités se trouvent principalement au nord de Liberia, Bagaces et Tilaran, ainsi qu'aux principaux cratères volcaniques du pays. D'autres éléments peuvent être considérés avec différentes échelles.	✓
Zone urbaine	Fragmentation et habilitation de terrain ayant pour but l'urbanisation à travers l'ouverture de rues et approvisionnement de services, tracés de voies publiques et espaces réservées aux usages et services communaux. Ils présentent souvent un arrangement géométrique.	✓

1.1.1.3 Elaboration d'une typologie adaptée de l'occupation du sol

La typologie de l'occupation du sol dans cette étude cherche à mettre en relief à échelle détaillée de 1 :5 000, l'impact des pressions humaines sur les cours d'eau essayant de comprendre les dynamiques hydrologiques de l'occupation du sol. D'après la classification et les définitions de l'aparté antérieur on distingue des espaces naturels et semi-naturels, des espaces agricoles et des espaces urbains. Cependant, cette classification ne contient pas des classes pour identifier quelques formes d'activité humaine plus détaillées face à l'objectif, particulièrement sur les espaces urbains. L'infrastructure de transport qui pourrait jouer un rôle important dans le ruissellement et la percolation de l'eau n'est pas définie ni le sont le bâti de logement, l'activité économique et l'infrastructure de services publics critiques exerçant chaque un d'entre eux une dynamique particulière de pression.

C'est pour cela que ce travail propose donc trois niveaux à codification arborescente à partir du premier niveau composé par : i. Espaces naturels et semi-naturels, ii. Espaces agricoles, iii. Espaces urbains et iv. Infrastructure de transport. L'infrastructure de transport et notamment les voiries sont distinguées à l'extérieur des surfaces couvertes par les pâtés urbanisés en espace bâti, activité économique et des services publics.

Table

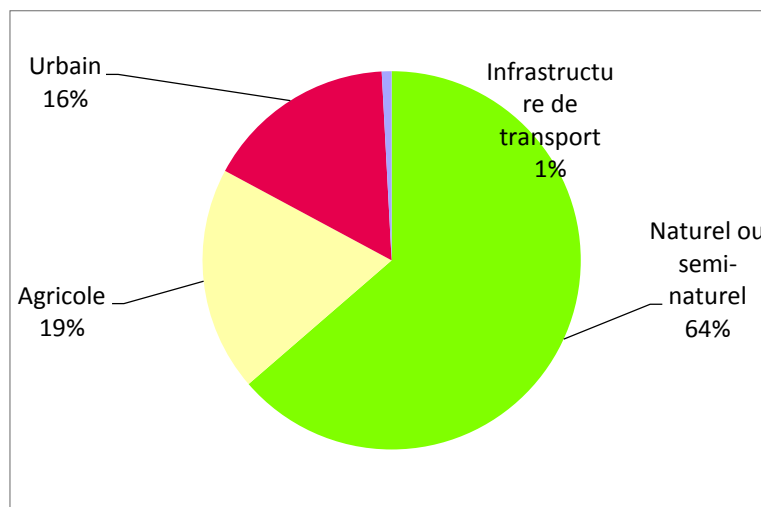
Typologie de l'occupation du sol adaptée pour le bassin versant du río Liberia.

Cod e	Niveau I	Cod e	Niveau II	Cod e	Niveau III
1	Espaces naturels et semi-naturels	11	Couverture végétale agricole	111	Forêt naturelle
		12	Sol découvert	112	Forêt perturbée
				113	Charral/tacotal
				121	Terrain rocheux
				122	Sol découvert
				123	Surface brûlée
2	Espaces agricoles	21	Agriculture	211	Culture annuelle
		22	Elevage	212	Culture permanente
				221	Pâturage
3	Espaces urbains	31	Espace bâti	311	Bâti mixte ancien
				312	Bâti dense
				313	Bâti lâche
				314	Besoins basiques insatisfaits (BBI)
		32	Zones d'activité économiques	321	Agro-industrie
				322	Activité commerciale
				323	Activité industrielle
		33	Services publics	331	Administration
				332	Education
				333	Eau et environnement
				334	Santé
				335	Places et autres espaces publics
4	Infrastructure de transport	41	Voiries	411	Routes nationales
		42	Aéroport	412	Routes cantonales
				421	Aéroport

1.1.1.4 Occupation du sol au niveau 1

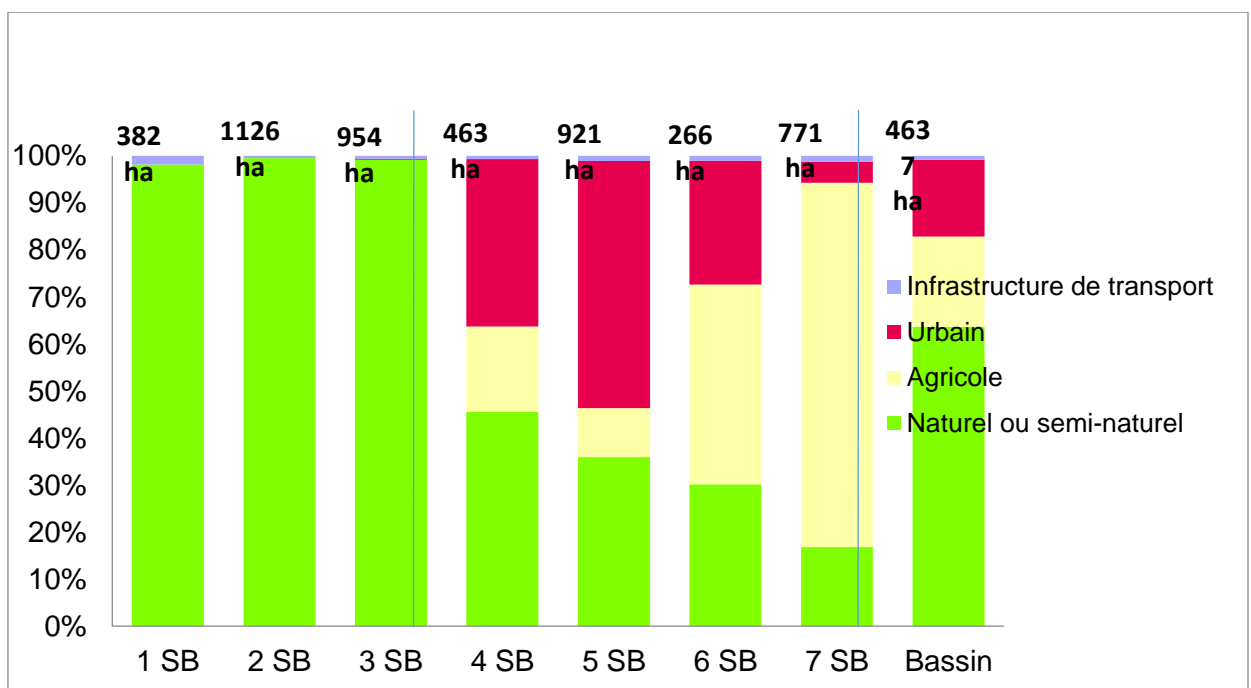
Les trois classes d'occupation du sol qui correspondent au niveau 1 de classification proposée présentent, sur l'ensemble des 4 636,78 ha, une participation très importante des

espaces naturels et semi-naturels 63,65% suivis des espaces agricoles et urbains avec 19,19% et 16,32% respectivement. L'infrastructure de transport constitué par de voiries essentiellement, participe marginalement sur l'occupation du sol tu territoire avec 0,84%.

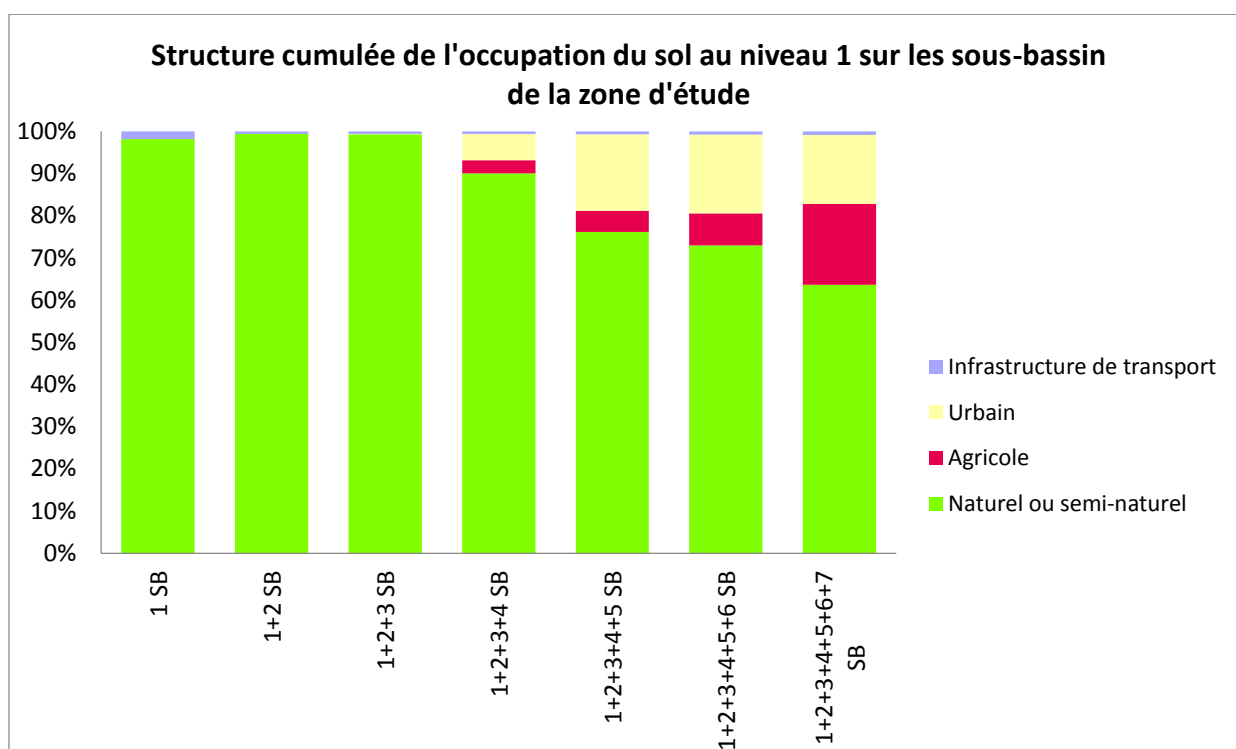


Occupation du sol au niveau 1 sur la zone d'étude 100% = 4637 ha

Quant au comportement des formes d'occupation du sol le long du bassin s'illustré sur le graphique suivant, les milieux naturels ou semi-naturels qui couvrent 98,16%, 99,54% et 99,16% sur les trois premiers sous-bassins pour 2 198,79 ha chutent en couverture à 45,64%, 35,94% et 30,16% sur le 4ème, 5ème et 6ème sous-bassin pour 622,91 ha, soit une perte en moyenne de 62,35%. Au contraire les milieux urbains pratiquement inexistants jusqu'au 4ème sous-bassin dominant significativement l'espace spécialement au 5ème sous-bassin ou ils couvriront 52,56% de la surface des 921,37 ha de ce sous-bassin.



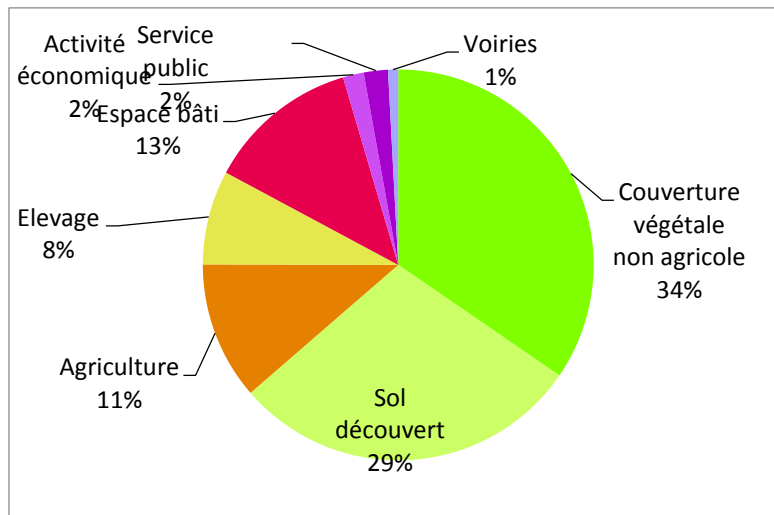
Structure de l'occupation du sol niveau 1 sur les sous-bassin de la zone d'étude



Structure cumulée de l'occupation du sol au niveau 1 sur les sous-bassin de la zone d'étude.

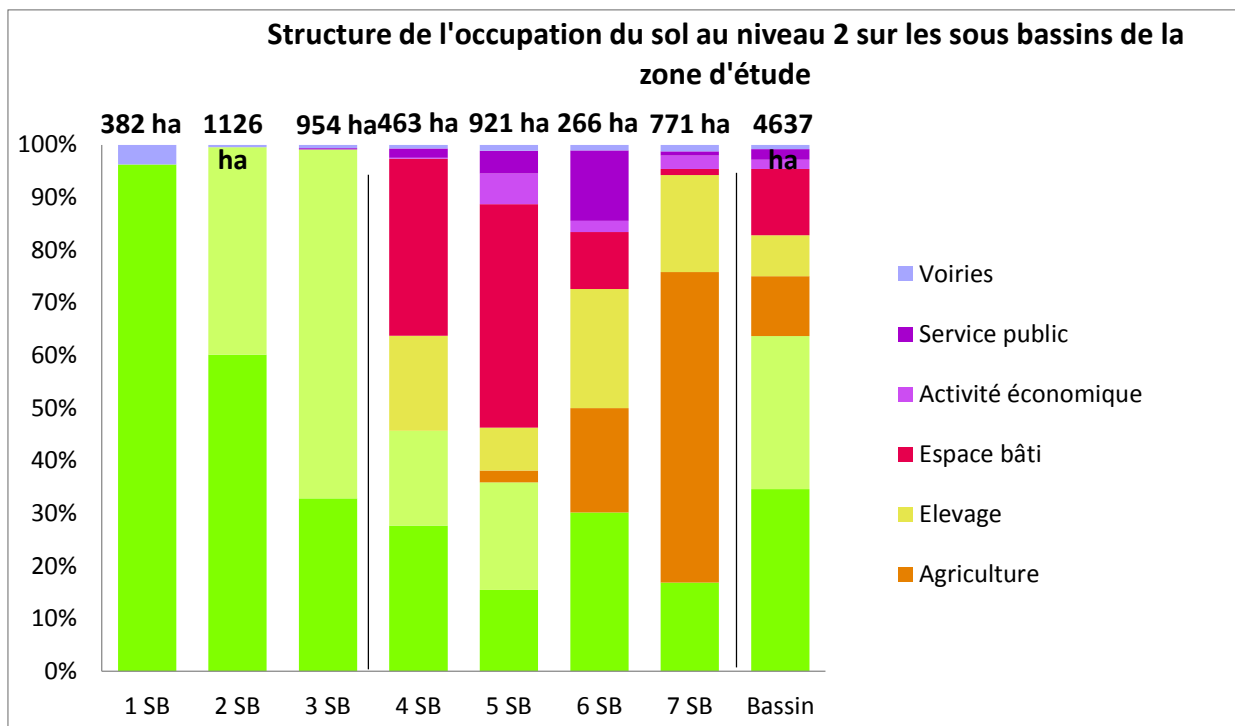
1.1.1.5 Occupation du sol niveau 2

Lorsque l'on évalue l'occupation du sol en utilisant le niveau 2 de la classification du sol proposée, la portion correspondante aux espaces naturels et semi-naturels se subdivise en couverture végétale non agricole (34,57%) et sol découvert (29,07%); essentiellement représentés par les terrains rocheux caractéristiques des coulées de lave du « Rincon de la Vieja ». En effet, entre le 2ème et 3ème sous-bassin, il y a un échange important de domination de l'espace entre la couverture végétale non agricole qui passe de 60,15% à 39,39%, et ces terrains rocheux qui avec ses 632,66 ha atteignent le 66,30% de la surface du 3ème sous-bassin. L'espace agricole se décompose en 528,78ha d'agriculture (11,40% de la surface total) et 361,31 ha d'élevage sur le 7,79% du territoire. D'autre part, la zone urbaine est dominée par l'espace bâti qui couvre 584,78ha (12,61%), suivi les services publics, les activités économiques et les voiries (2,00%, 1,72% et 0,84% respectivement).

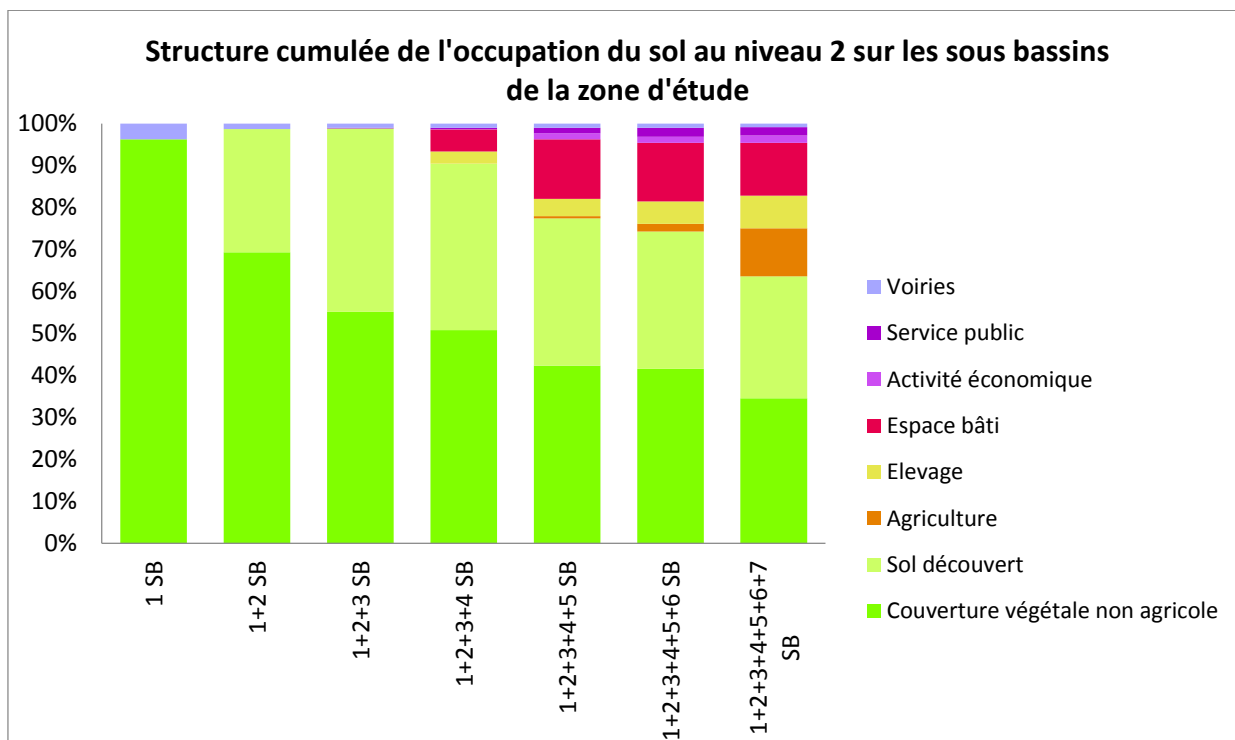


Occupation du sol au niveau 2 sur la zone d'étude :

Le 4ème sous-bassin est sur le territoire un espace de rupture puisque c'est là où on constate une première diversification de l'occupation du sol avec la participation d'espaces anthropisés. Les espaces bâtis sont ici le 33,66% de la surface tandis que l'élevage représente 18,08%, et la couverture végétale non agricole et les terrains rocheux se partagent le 45,64% restant de la surface. Le 5ème sous-bassin est le plus intensément urbanisé avec 42,45% de la surface en espace bâti, 10,41% d'espace pour l'agriculture, surtout pour l'élevage et 11, 27% en espaces d'activité économique, services publics et voiries. Seulement 35,87% des espaces restants restent là sous la catégorie d'espaces naturels et semi naturels. Pour le 6ème et le 7ème sous-bassins chutent les espaces bâtis et le sols découverts pour laisser la place aux services publics, à l'élevage et à la couverture végétale non agricole, mais surtout aux espaces agricoles que dorénavant domineront le territoire.



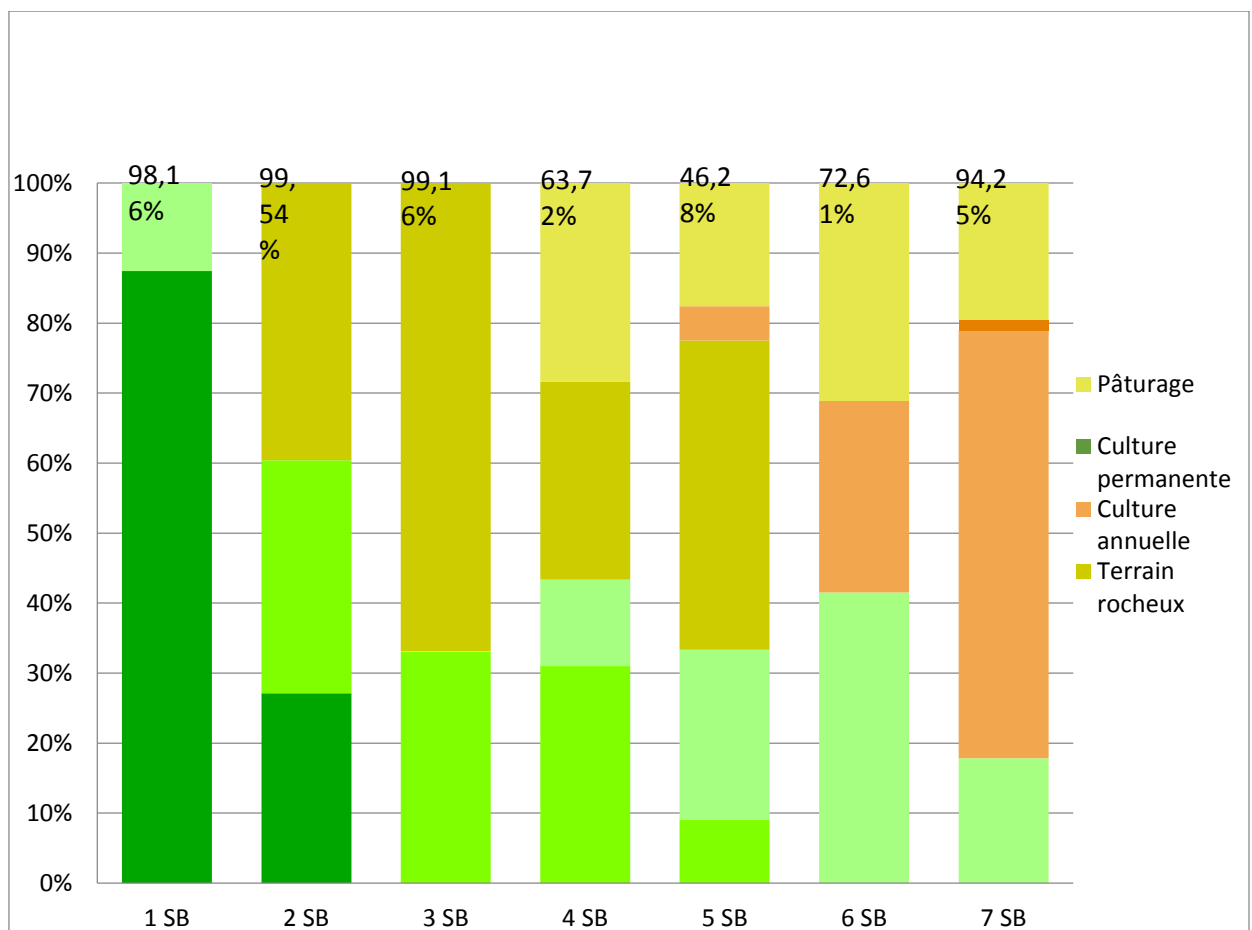
Structure de l'occupation du sol au niveau 2 sur les sous-bassin de la zone d'étude



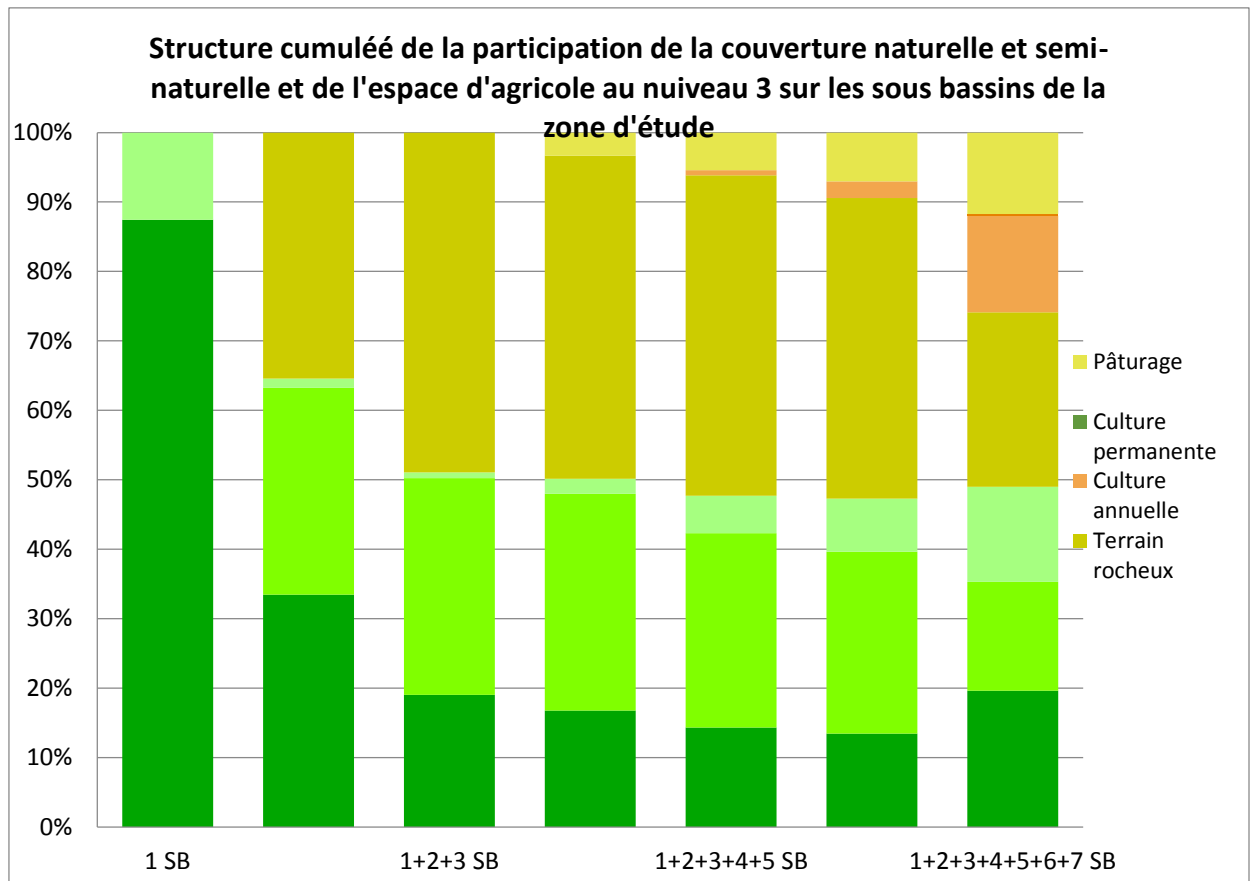
Structure cumulée de l'occupation du sol au niveau 2 sur les sous-bassin de la zone d'étude

1.1.1.6 Occupation du sol niveau 3

Comme vue dans l'analyse précédant, la couverture végétale non agricole est importante sur les trois premiers sous-bassins de la zone d'étude. Le 1er sous-bassin se trouve entre 650 et 850 mètres au-dessus du niveau de la mer tandis que le 2ème sous-bassin se trouve sur les 260 m, les conditions géologiques, pédologiques et hydrométéorologiques sont différentes. De plus, plus proche du Parc National Rincon de la Vieja, la forêt naturelle représente 85,82% de la surface du 1er sous-bassin. Cette forêt est remplacée sur le 2ème et 3ème sous-bassins où les terrains écharpés repoussent une forêt maintenant perturbée, sur les espaces plus proches des cours d'eau tandis que les terrains rocheux dominent les plateaux.



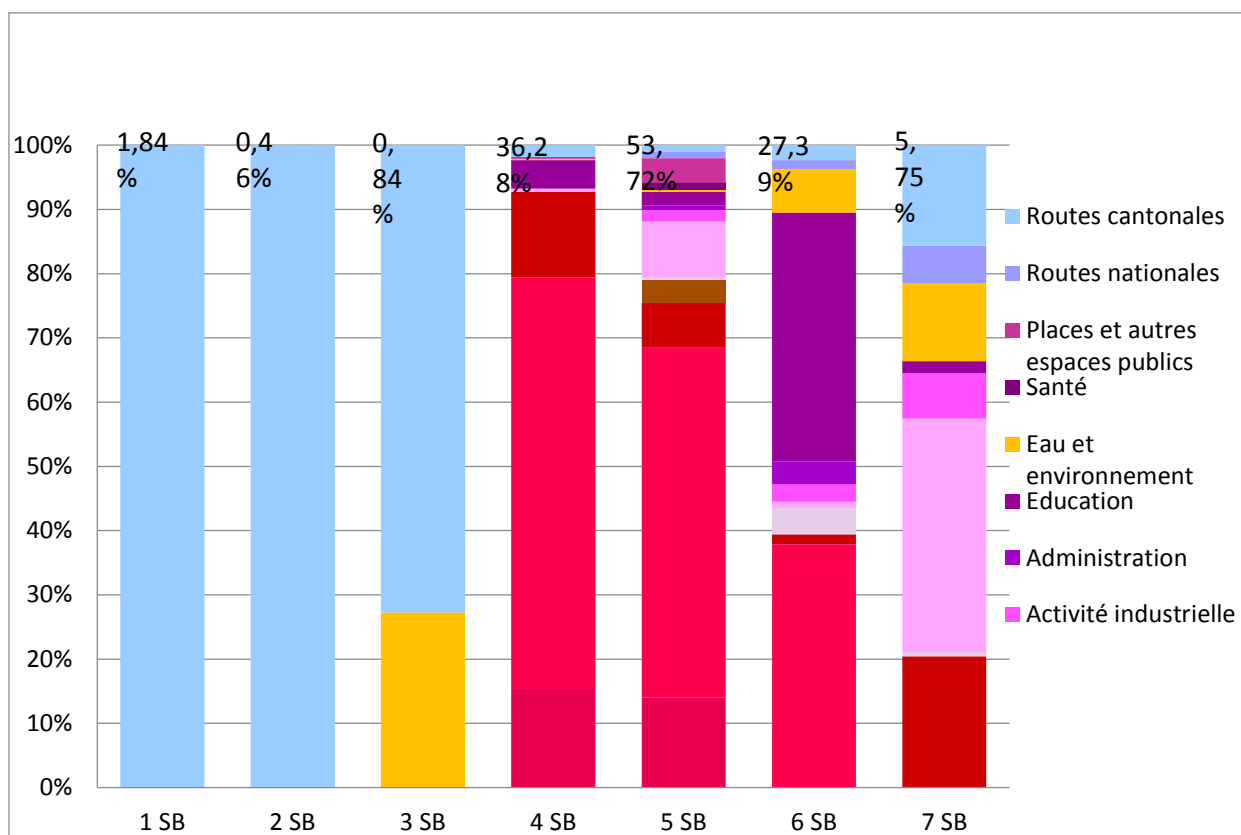
Couverture naturelle, semi-naturelle et de l'espace agricole au niveau 3 sur les sous-bassin de la zone d'étude



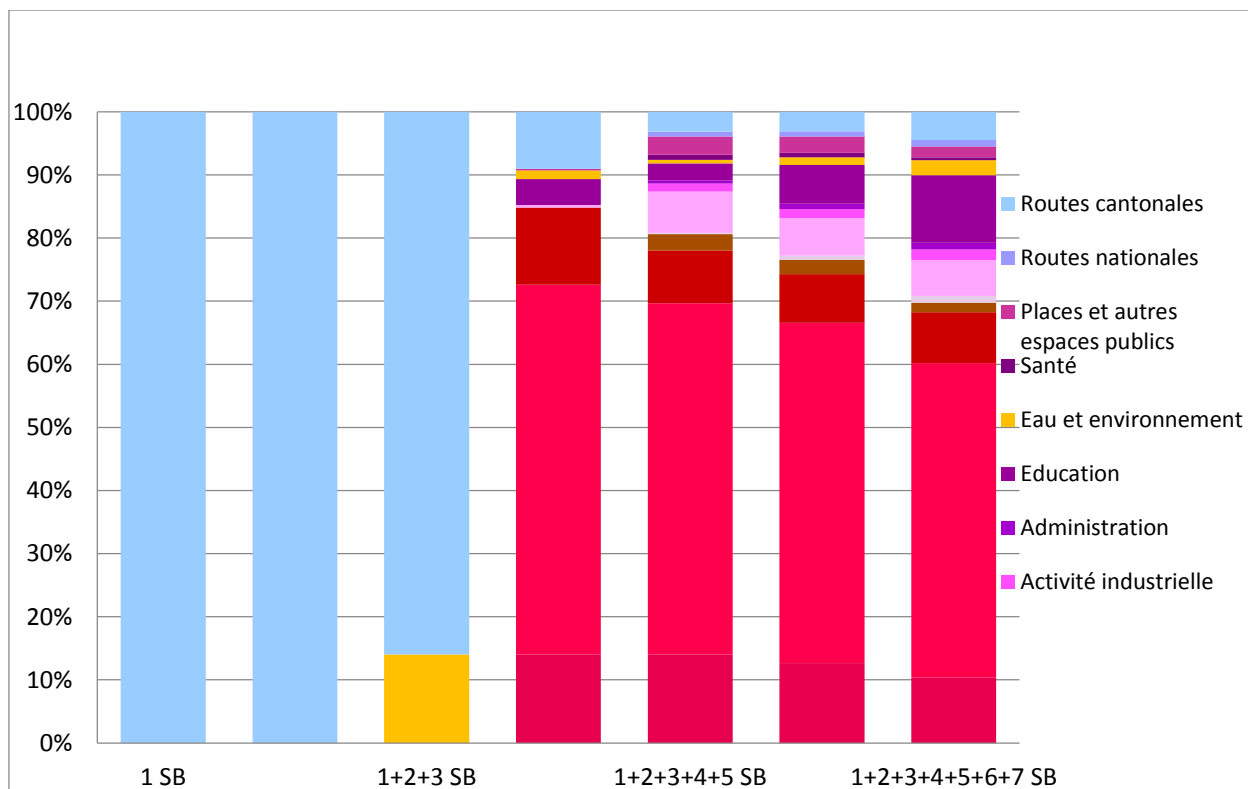
Couverture cumulée naturelle, semi-naturelle et de l'espace agricole au niveau 3 sur les sous-bassin de la zone d'étude

Pendant que les terrains rocheux et les forêts perturbées diminuent en occupation du sol au 4^{ème} sous-bassin, le bâti dense se partage l'espace avec les pâturages et les charrales. Autres formes d'occupation du sol apparaissent également comme le bâti mixte ancien et le bâti lâche, établissements d'éducation et voiries.

Le 5^{ème} sous-bassin est comme pour l'analyse antérieure le bâti dense domine l'espace avec les terrain rocheux, en deuxième temps l'espace est occupé par des charrales, du pâturage est des espaces isolés de forêt perturbée. Au 5^{ème} se trouvent également les plus importantes occupations en bâti mixte ancien, bâti lâche, logement aux besoins basique insatisfaits, services de santé, éducation, places et autres espaces publics, activité commerciale et industrielle et autres.



Couverture de la zone urbaine et de l'infrastructure de transport au niveau 3 sur les sous bassins de la zone d'étude



Couverture cumulée de la zone urbaine et de l'infrastructure de transport au niveau 3 sur les sous bassins de la zone d'étude

Sur le 6^{ème} sous-bassin est principalement occupée par charrales et pâturages, cependant, ici se trouve un pôle avec divers établissements d'éducation primaire, secondaire, technique et supérieure ce qui signifie une grande occupation du sol sur ce sous-bassin. Egaleme nt, on en trouve la station d'assainissement d'eau usées, agro-industrie (de riz et industrie bovine), bâtiments administratifs entre autres.

Sur le 7^{ème} sous-bassin la culture annuelle atteint la valeur de 57,62% de sa surface tandis que tout le restant des classes d'occupation du sol diminue (charrales, pâturages, bâti dense, éducation) ou restent constantes sauf quelques activités commerciales et les infrastructures de transport.

Annexe 3 : Efficiency of regulatory water quality indexes to assess anthropic pressures: Application to a Costa Rican river (Rio Liberia).

[Click here to view linked References](#)

Efficiency of regulatory water quality indexes to assess anthropogenic pressures: Application to a Costa Rican river (Rio Liberia River)

Christian Golcher Benavides^{1,2,3}, Flavie Cernesson³, Andrea Suarez Serrano¹ & Marie-George Tournoud⁴

¹Universidad Nacional, Hidrocec-UNA, 50101 Guanacaste, Costa Rica; christian.golcher.benavides@una.cr,
andrea.suarez.serrano@una.cr

²CIRAD, UMR TETIS, F-34093 Montpellier, France

³AgroParisTech, UMR TETIS, F-34093 Montpellier, France; flavie.cernesson@agroparistech.fr

⁴Univ. Montpellier, HSM, F-34095 Montpellier, France; marie-george.tournoud@umontpellier.fr

Abstract

The Costa Rican surface water quality regulation exemplifies national concern for the progressive impairment of the aquatic ecosystems. Three water quality indexes are recommended in the country's regulation: a physical-chemical index (PQI'CR), the Biological Monitoring Working Party adapted to Costa Rica (BMWP'CR) and a fecal coliform classification (FCC'CR). Criteria describing hydrological conditions and natural and anthropogenic pressures are also required to understand eco-hydrological functioning and to define actions to preserve water quality, reduce human impacts and restore aquatic ecosystems. We tested the efficiency of these water quality index classes and scores in a 46 km² catchment located in the province of Guanacaste where the Liberia city (38 500 inhabitants) covers 17% of the catchment. Using seven monitoring stations, we conducted 15 campaigns between 2013 and 2015. Links between water quality indexes and seasonal climatic conditions were analyzed using an H-index based on a four-class typology of climatic conditions. Links between water quality indexes and global and local pressures were analyzed using a three-level land use cover and riparian quality indexes. Qualitative and statistical analyses well adapted to deal with sparse datasets were applied. It was difficult to observe a clear relationship between the H-index and the water quality indexes. Water quality is better at the three upstream stations than the other under the influence of the urban influence of Liberia city. As expected the PQI'CR, the BMWP'CR and the FCC'CR expressed significant improvement of the water quality of the river under the influence of natural land use descriptors (at the three levels) and good riparian conditions. On the contrary, global anthropogenic pressures (agriculture and urbanization) have an impairment effect on water quality. Results obtained by the water quality indexes' scores and classes are in accordance which proved they are efficient tools for river managers.

Keywords

Water quality index, land use, riparian quality, macroinvertebrate, regulation, Costa Rica

32 **Acknowledgements**

33 This study could not have been accomplished without funding from the National University of Costa Rica
34 (UNA) and the French Institute for Central America (IFAC). We thank Daniela Rojas, Luisa Rojas, Alvaro
35 Baldioceda and Guillermo Duran from Hidrocec-UNA and Muriel Bonin from TETIS, for scientific support.
36 Thanks to our partner institutions SINAC-ACG, ICE, AyA for supplying data and valuable information. We are
37 very grateful to Jorge Saenz Lobo for his support and his commitment to the Liberia River. Finally we thank
38 translators, editors and reviewers who helped improve the quality of this paper.

39

Introduction

A key challenge for sustainable surface water management is the correct use of environmental indexes to provide operational information on water quality. Environmental indexes have proven to be a complex, dynamic concept and tool whose limits can be identified by ecological, statistical and even expert-based approaches (Birk et al. 2012). Such indexes can have descriptive, normative or combined objectives (Heink and Kowarik 2010), and as such, they must be appropriate, valid, reliable, and operational (Pingault and Préault 2007). However, many authors have pointed out the fact that indexes are only meaningful as a snapshot can be; thus they are not fit to observe previous or expected levels of concentrations. Originally proposed as a means for comparative evaluation and pollution abatement (Horton 1965), indexes were found to be helpful to identify trends and optimize sampling effectiveness (Dunnette 1979; Kannel et al. 2007). Conventionally, water uses were used to create general rating scales (Dinius 1987) but this traditional approach has evolved to include ecological integrity and restoration goals (Brown et al. 1972; House 1989; Novotny et al. 2005; Ramos et al. 2016).

Water quality indexes (WQI) are defined as a “*linear combination of several parameters to which specific weights are assigned*” (Espejo et al. 2012). In 2007, Costa Rican legislation established the “Surface water quality assessment and classification regulation” (MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia, 2007), which set three main WQI’s: The physical-chemical index (PQI’CR) classifies pollution caused by oxygen demanding substances and weights the percentage of dissolved oxygen (DO (%)), biological oxygen demand (BOD₅), and the concentration of ammonium nitrogen (NH₄-N). The legislation defines the Biological Monitoring Working Party adapted to Costa Rica (BMWP’CR). Hawkes (1998) presented a freshwater biological monitoring working party score system based on the presence of families of benthic macroinvertebrates -the BMWP- which was further adapted to Costa Rica by Springer et al. (2010). A bacterial index (FCC’CR) is defined to assess potential water uses and sanitary requirements based on the presence of fecal coliforms.

Spatial and temporal approaches are used to analyze the biological and physical-chemical components of water quality (Bahar et al. 2008; Goldstein et al. 2006; Lammert and Allan 1999; Novotny et al. 2005). Moreover, studies of the spatial and temporal dimensions of WQI have increased significantly since 2005 (Craig et al. 2017; Uuemaa et al. 2012).

The Costa Rican regulation has not yet been systematically applied in the country nor has it been tested. As it is such a complex tool, how do the selected WQI provide useful spatial and temporal information? In this paper, we evaluate whether this compound of WQI is suitable to assess local and global and hydrological pressures in

space and over time. To this end, we observed a program that monitored the quality of the water in the tropical Liberia River in Costa Rica from March 2013 to July 2015. Here, after a general overview, we present the results on water quality and how we tested these results using different analytical tools to check if the water quality indexes in the Costa Rican regulation are suitable to evaluate the impacts of climatic variability as well as of local and global pressures on water quality.

Materials and methods

Study site and water quality monitoring network

The Liberia River is located in the northern Pacific region of Costa Rica. The climate of the Liberia watershed is dry tropical and is affected by the ENSO phenomenon (IMN-Instituto Meteorologico Nacional 2008). The dry season lasts from December to March. March is the hottest and driest month, and April a transitional month. A first rainy season occurs between May and August, with the first rainfall peak in June, followed by a short dry period caused by intensification of trade winds. The second rainy season lasts from September to November, September and October being the months in which the influence of cyclones is the highest and November the transition month to the dry season (IMN-Instituto Meteorologico Nacional 2008; Solano Quintero and Villalobos Flores 2001). Following Villalobos Flores et al. (2013), the average annual rainfall is 1 600 mm. The total amount for 2013 is 1 738 mm with 99 rainy days, 2014 and 2015 are particularly dry years with respectively an annual amount of 1 223 mm for 75 rainy days and 650 mm for 52 rainy days (Fig.1).

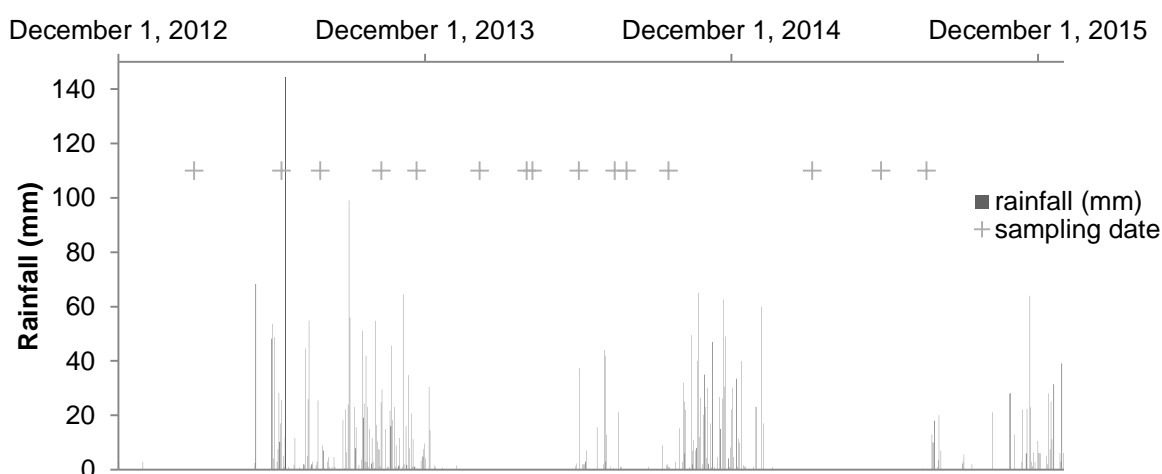


Fig. 1 Water sampling dates and daily rainfall from December 1st, 2012 to December 31st, 2016 (NOAA National Data Centers 2015)

The Liberia River flows from the Rincon de la Vieja volcano located at an altitude of 740 m to the Tempisque River at an altitude of 10 m asl. Upstream, the river is fed by a canal that collects water from multiple streams in

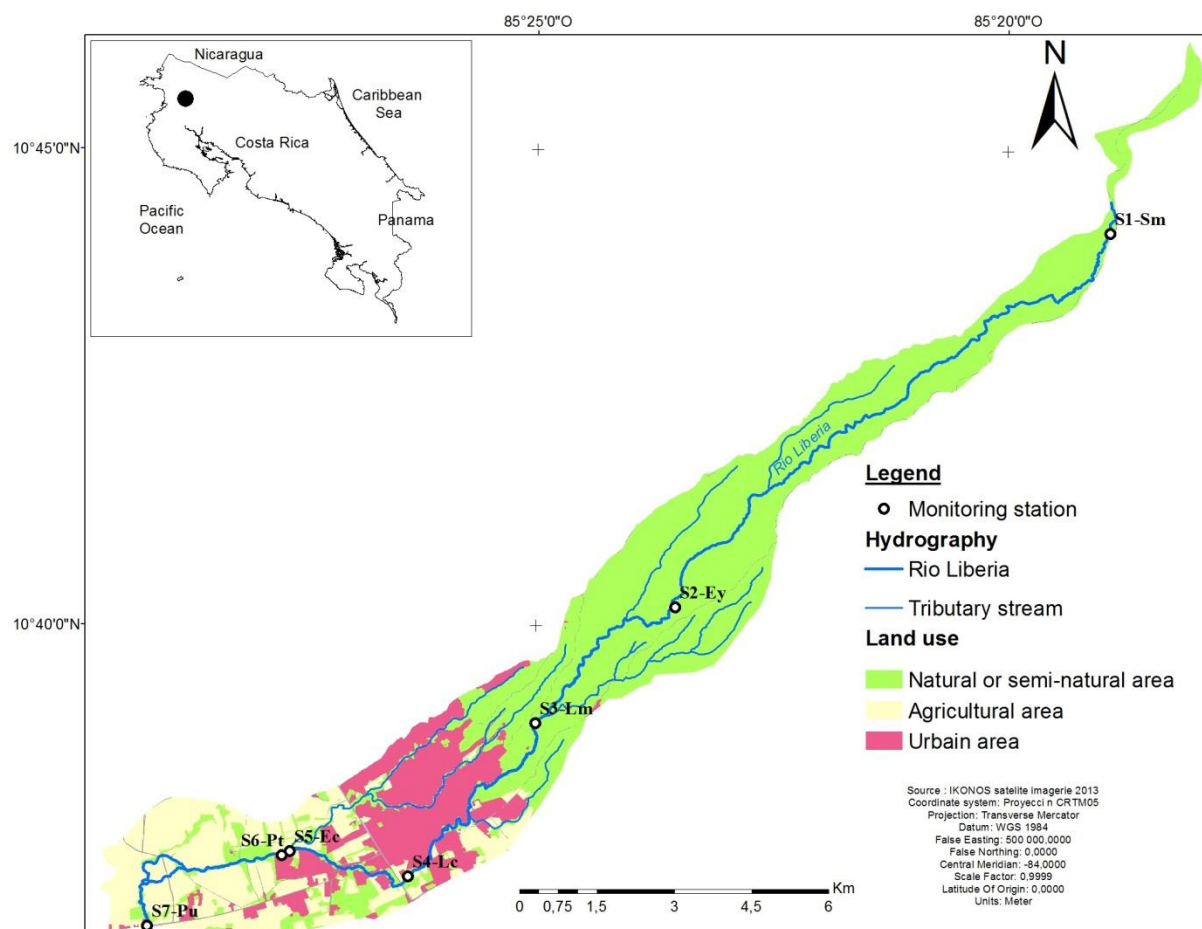
the National Park area. Some ephemeral streams are also connected to the Liberia River on its upstream and mid river courses. Given the turbidity of the water, the river can be considered as a white water river due to the volcanic alluvium (Lewis Jr. 2008). Three main tributaries: Danta, Carreta, Piches, and its own affluent the Panteon, join the Liberia River downstream of the city of Liberia (Fig. 2). Seven monitoring stations have been surveyed since 2013 on the main stream of the Liberia River. Six stations target the main parameters to follow up water quality of the Liberia River: three upstream stations (S1-Sm, S2-Ey and S3-Lm) are located to follow natural conditions and three stations (S4-Lc, S5-Ec and S7-Pu) to assess urban pressures following land cover and riparian conditions (Table 1). The last station (S6-Pt) controls the city wastewater treatment plant effluent. Our study focused on 4 637 ha and a 66 km network of streams.

Table 1: Characteristics of the monitoring stations

Station Code	km from the source	Surface and elevation	Site characteristics
S1-Sm	0.5	1.3 km ² - 690 m	Head catchment (foothills of the volcano): mainly forested covered area - dense riparian vegetation
S2-Ey	13.5	11.6 km ² - 260 m	Steep canyon area: mainly exposed rocky soil - narrow vegetated corridor
S3-Lm	18.1	22.1 km ² - 180 m	Upstream limit of urban area: light residential area - dense riparian vegetation in large corridor
S4-Lc	23.3	26.8 km ² - 145 m	Urban area: influence of the old city center - riparian vegetation cover limited by urbanization
S5-Ec	26.3	36.0 km ² - 125 m	Affluence of the Piches tributary: influence of the high density residential area - high presence of solid waste and illegal effluents – degraded riparian vegetation
S6-Pt	26.5	39.0 km ² - 124 m	City wastewater treatment plant effluent
S7-Pu	30.5	46.4 km ² - 113 m	Downstream limit of urban area: Agricultural and grazing areas - dense riparian vegetation

At upstream stations, the foothill of the volcano is a steep and narrow basin where exposed areas with rocky soil dominate. These areas are mainly natural and semi-natural and are not suitable for agriculture, as only shallow intrusive rocks composed of ignimbrite cover the basalt and tuff lava flows that date from the Pliocene (Janzen 1991). The location of downstream stations is also composed of white tuff with inferior ignimbrites from the Late Pleistocene but presents a moderate slope. The urban areas are concentrated in this section. The Liberia watershed hosts a population of 38 500 inhabitants almost all of whom live in the urban area comprising Liberia city (INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censo 2015). Here, former grasslands are also disappearing under urban pressure.

110



111 **Fig. 2** Liberia River catchment with coarse land uses, hydrography and the locations of the monitoring stations

112 Water Quality Indexes construction and analytical protocols

113 The Costa Rican legislation bases the water quality monitoring programs on three indexes: PQI'CR, BMWP'CR

114 and FCC'CR (MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia, 2007). The PQI'CR is based on three

115 physicochemical parameters: DO (%), BOD₅ and NH₄-N. In our study, DO (%) was measured *in-situ*. Grab

116 samples were collected at the monitoring stations and transferred to the laboratory for immediate analysis

117 according to the standard procedures described by APHA-AWWA (2012) for BOD₅ and NH₄-N. The three

118 parameters (%DO, BOD₅ and NH₄-N) are graded from 1 to 5 points (Table 2). The PQI'CR score equals the sum

119 of the scores the parameters. This score is furtherly translated into five water quality classes (Table 3).

120 **Table 2:** Scoring assignment for the PQI'CR parameters

Points	%DO	BOD ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)
1	91-100	≤ 3	<0.50
2	71-90 or 111-120	≤ 6	≤ 1.0
3	51-70 or 121-130	≤ 9	≤ 2.0
4	31-50	≤ 15	≤ 5

5	<=30 or >130	>15	>5
---	--------------	-----	----

The BMWP'CR is based on the scoring of benthic macroinvertebrate communities regarding to the absence or presence of given families among the ninety-nine referred in the Costa Rican regulation (MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia 2007). In this study, benthic macroinvertebrates were sampled at the monitoring stations using the single habitat approach described by Barbour et al. (1999). Individuals were sorted and accounted by family. Each macroinvertebrate family is graded from 1 to 9 according to their pollution resistance or sensitivity (MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia 2007). The BMWP'CR score equals the sum of the product of present macroinvertebrate family scores by the family grades. This score is furtherly translated into six water quality classes (Table 3).

The FCC'CR score is strictly based on the determination of the number of fecal coliform colony-forming units on water samples. We used the multiple tube fermentation procedure recommended by APHA-AWWA (2012). The five FCC'CR classes are presented in Table 3.

Table 3: Water quality classification system of the physicochemical, biological and bacterial indexes given in the national regulation (MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia 2007)

WQI	Score	Class	Water quality classification
PQI'CR	3	1	No pollution
	4-6	2	Incipient pollution
	7-9	3	Moderate pollution
	10-12	4	Severe pollution
	13-15	5	Very severe pollution
BMWP'CR	>120	1	Excellent water quality
	101-120	2	Good water quality, not polluted
	61-100	3	Regular water quality, eutrophic, moderate pollution
	36-60	4	Bad water quality, polluted
	16-35	5	Bad water quality, very polluted
	<15	6	Very bad water quality, extremely polluted
FCC'CR	< 20	1	Allowed protection of aquatic communities
	20-1000	2	Allowed protection of aquatic communities
	1000-2000	3	Protection impossible
	2000-5000	4	Protection impossible
	>5000	5	Protection impossible

Water quality classification of the fecal coliform presence based on the treatment it would require.

Sampling frequency *versus* climate and hydrological conditions

The MINAE-Ministerio de Ambiente y Energia (2007) recommends distinguishing seasonal climatic conditions to get sound monitoring programs.

In absence of streamflow data, the antecedent precipitation index defined by Kohler and Linsley (1951) can be used to characterize hydrological conditions in various states: rainfall-runoff events (at short time scales: 1 day), recession period (on weekly basis) and intra/inter seasonal influence when calculated for long periods (monthly basis) (Ali et al. 2010). In this study, we propose to summarize the climatic conditions by using a hydrological index (H-index) based on antecedent rainfall amounts. Antecedent rainfall amounts for 1-day, 7-day, 28-day and 91-day durations are scored from 1 to 4 points according to observed rainfall statistics at Liberia rainfall station. Table 4 shows the 4 class intervals and the corresponding points.

Table 4: Rainfall amount quartiles (and correspondent class intervals) for 1, 7, 28 and 91 day durations at Liberia rainfall station (2013-2015)

Points	1 day (mm)	7 days (mm)	28 days (mm)	91 days (mm)
1	≤ 5	≤ 14	≤ 48	≤ 117
2	≤ 10	≤ 43	≤ 110	≤ 290
3	≤ 20	≤ 81	≤ 229	≤ 642
4	> 30	> 81	> 229	> 642

The H-Index equals the sum of the points of the antecedent rainfall amounts. It is scored between 4 and 16 and is translated into climatic classes from very dry D₁ to very humid H₂ (Table 5).

Table 5: Sampling dates hydrological quartiles and correspondent class intervals

H-index score	H-index classes
4	D ₁ : very dry
5	D ₂ : dry
≤ 11	H ₁ : humid
>11	H ₂ : very humid

Table 6 shows the H-Index for the 15 sampling dates from 2013 to 2015: six of them present D₁ conditions, four are H₂, three present D₂ conditions and two are H₁.

Table 6: Water quality sampling schedule and their corresponding H-indexes

	days	03/01/2013	06/13/2013	07/29/2013	10/10/2013	11/21/2013	02/04/2014	04/01/2014	04/08/2014	06/02/2014	07/15/2014	07/29/2014	09/17/2014	03/07/2015	05/28/2015	07/21/2015
Antecedent rainfall amounts (mm)	1	0	0	0	9	0	0	0	0	45	0	0	27	0	0	0
	7	0	158	10	113	47	0	0	0	91	0	0	159	0	0	2
	28	0	410	149	320	120	0	0	0	123	1	1	332	0	0	13
	91	0	481	692	845	810	79	0	0	163	200	202	351	1	1	96
H-index score		4	12	9	14	10	4	4	4	13	5	5	14	4	4	5

	H-index class	D ₁	H ₂	H ₁	H ₂	H ₁	D ₁	D ₁	D ₁	H ₂	D ₂	D ₂	H ₂	D ₁	D ₁	D ₂
157																
158	Global pressures															
159	Anthropogenic pressures on aquatic ecosystems can be defined by point and diffuse pollution sources, transfers															
160	to the river and their persistence over time. Point pressures such as effluent from waste water treatment plants															
161	can be monitored, whereas diffuse pollution and physical alterations are more likely to be connected to															
162	agricultural and urban plots (Baker 2005; Krause et al. 2008; Sliva and Dudley Williams 2001). Land use data															
163	can provide an exhaustive spatial view of human activities and can be used to describe driving forces and to															
164	define descriptors of pressure (Lalande et al. 2014). Johnson and Host (2010) identified the main land uses that															
165	affect the river as: natural and semi-natural, agricultural and artificial areas. However, land use typology is often															
166	not as detailed as required for management purposes, especially in the case of small complex river basins (Brill															
167	et al. 2017) A multilevel land use typology could help focus on different pressures and responses. We produced a															
168	three level land use map adapted from Costa Rican land use standards. The coarse land use level describes the															
169	main land uses in three categories: natural and semi-natural, agricultural and artificial areas. The intermediate															
170	land use level describes the main land covers for the natural, agricultural and urban areas and the third map															
171	details the human activities and natural areas.															
172	Land use was mapped using IKONOS 1.0 m resolution satellite imagery from 2013. The land use map															
173	(1:10 000) was produced following photointerpretation guidelines and the typical characteristics described by															
174	Loelkes (1983), including pattern, size, shape, tone and color, texture, shadow and site associations. We adapted															
175	a three-level typology from the Costa Rican Geographic Institute's classification (Chavarria Espinoza and															
176	Noches Fernandez 2010) to the conditions of the site. Complementary information used to determine the entities															
177	of the third level was collected from different national sources (ITCR-Instituto Tecnológico de Costa Rica 2015)															
178	and during field campaigns.															
179	Allan et al. (1997) and again in (2004), highlighted different spatial scales: catchment, reach and station. Given															
180	the size and the shape of the hydrological network in our study area, we consider land use surface ratio															
181	corresponding to each water quality monitoring station as the descriptor of human activities (or pressure) (Sliva															
182	and Dudley Williams 2001).															
183	Local pressures															

Local pressures at reach scale can be accounted through the riparian conditions (Carvalho et al. 2011). We assessed the ecological status of riparian systems along the Liberia River at reach scale using the riparian quality index (RQI) procedure described by Tánago and Lastra (2011). This index considers the main sources of riparian ecological functions and environmental services, and is a useful tool to monitor and evaluate riparian zones and morphological conditions. The index establishes a scoring system for seven riparian attributes which are graded from 1 (very bad) to 15 (very good). Three of them assess each bank separately: i. lateral width of riparian area, ii. longitudinal continuity of natural riparian woody vegetation and iii. species composition and structure of riparian vegetation. The remaining attributes assess both sides jointly: iv. woody species regeneration, v. bank conditions and habitat quality, vi. floods and lateral connectivity and vii. substratum and vertical connectivity. The RQI score results from the sum of the attributes scores. It varies between 10 and 150. The grading scale provides five riparian quality classes: 10-39, 40-69, 70-99, 100-129 and 130-150, also from very bad to very good riparian quality status.

One field campaign was conducted in 2013 at each monitoring site to score the different attributes. Field data were assessed and recorded using the “field data sheet the characterization and assessment of riparian conditions” (Tánago and Lastra 2011).

Statistical Analysis

We decided to determine if, given the different climate conditions, global and local scale pressures, the WQI scores and classes could properly reflect the spatio-temporal variability of the river quality status. The seasonal dynamics analyze was based on the following hypothesis: hydrological variability is prevalent over land use changes, particularly as we work on short time series. For a given station, the analysis is conducted on median WQI scores calculated considering the scores of all campaigns having the same H-index. The median WQI scores were plotted for graphical analyses. Independence between stations was calculated by the Spearman and Permutation test proposed by Lalande (2013). Relationships between WQI's and the global and local pressure descriptors were calculated by the Spearman coefficient using median values to reduce the influence of extreme values.

Results and discussion

The global and local pressures at the monitoring stations

Natural and semi-natural areas (63.7%) cover most of the study area, followed by agricultural (19.2%) and urban areas (17.1%). However, the study site presents a considerable land use shift between uphill and downstream stations. From S4-Lc, urban and agricultural areas gradually begin to cover portions of the catchment (see Fig.3).

The intermediate land use specifies non-agriculture vegetation and bare soil cover, which account for respectively, 34.6% and 29.1% of the whole catchment. The agriculture and grazing areas cover 11.4% and 7.8% and the built up area is the most important urban area land use covering 12.6% of the whole catchment.

Looking to detailed land use shows that preserved forests (9.0%) are located uphill S2-Ey, while degraded forests (17.6%) are found uphill S4-Lc. The charrales (7.9%) are present at all catchments. Annual crop plots (11.2%) are the most important agricultural land use mainly located downstream S4-Lc, pasture plots cover (7.8%) follows second. Finally, the most important urban area is the dense residential (8.7%), followed by the old city center (2.1%) and the light residential area (1.4%), while other urban land uses cover 4.9% of the whole catchment.

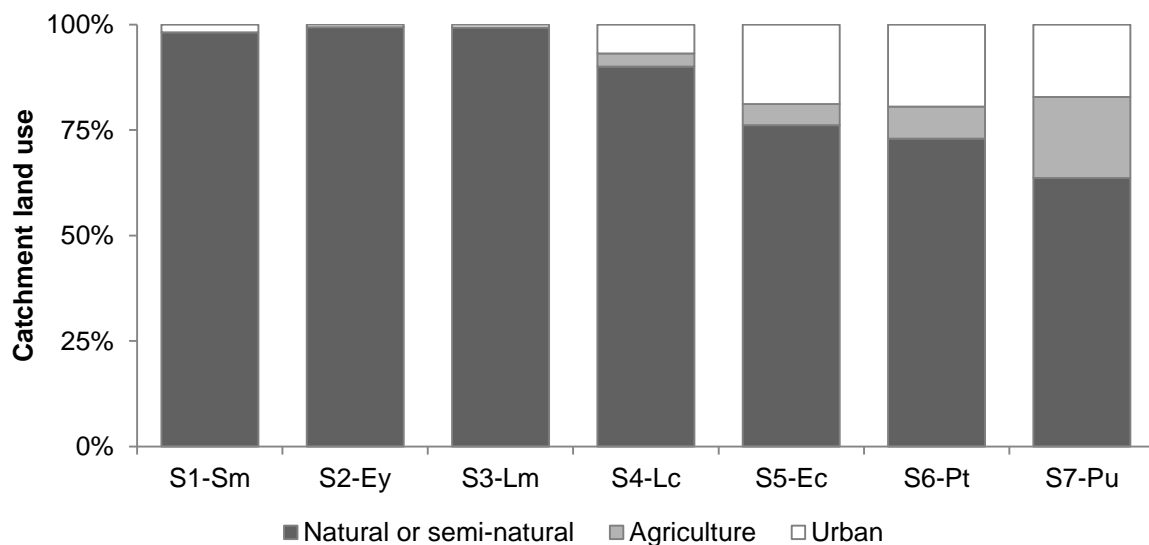


Fig. 3 Coarse land use structure in the catchment

In terms of local pressures, all stations present anthropogenic alterations of the riparian conditions (see Fig.4). The riparian quality index shows good conditions at upstream stations (S1-SM, S2-Ey and S3-Lm). Alterations are observed at S1-Sm (RQI = 109) of the left riparian width, the lateral connectivity and the morphological. At S2-Ey (RQI = 106) the low scores are due to the condition of the composition and structure of the riparian vegetation and the lateral connectivity. Overall highest score is shown at S3-Lm (RQI = 119) moderately affected on the composition and structure of the right margin. Station S4-Lc (RQI = 73) presents moderate

riparian condition in several attributes. Regeneration downstream from this station is restricted to few woody species, mainly mature individuals. The remaining stations have all poor riparian conditions.

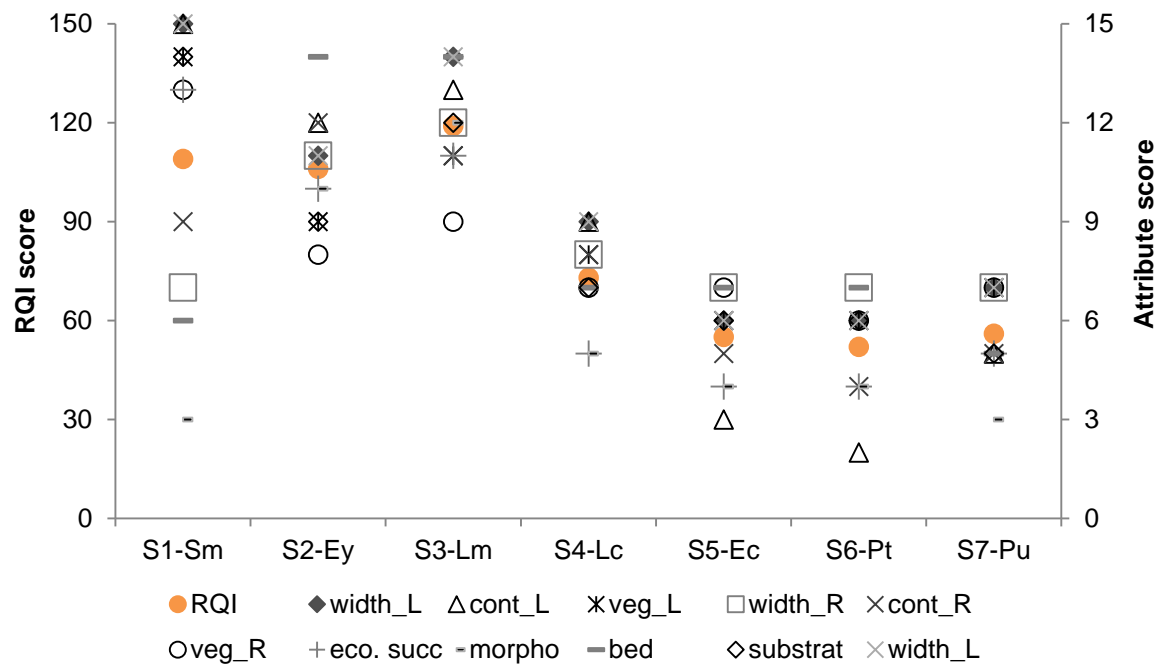


Fig.4 RQI and the attribute's scores for each station in the study area

The water quality indexes at the monitoring stations

As shown in Fig. 5, it is difficult to observe a clear influence from climatic conditions on WQIs. Hydrological factors that could have an effect during the rainy season are the activation of the river's tributaries, the natural and urban runoff (pluvial drainage system and uncontrolled effluents) and the composition and flow effluent of the unitary wastewater treatment plant.

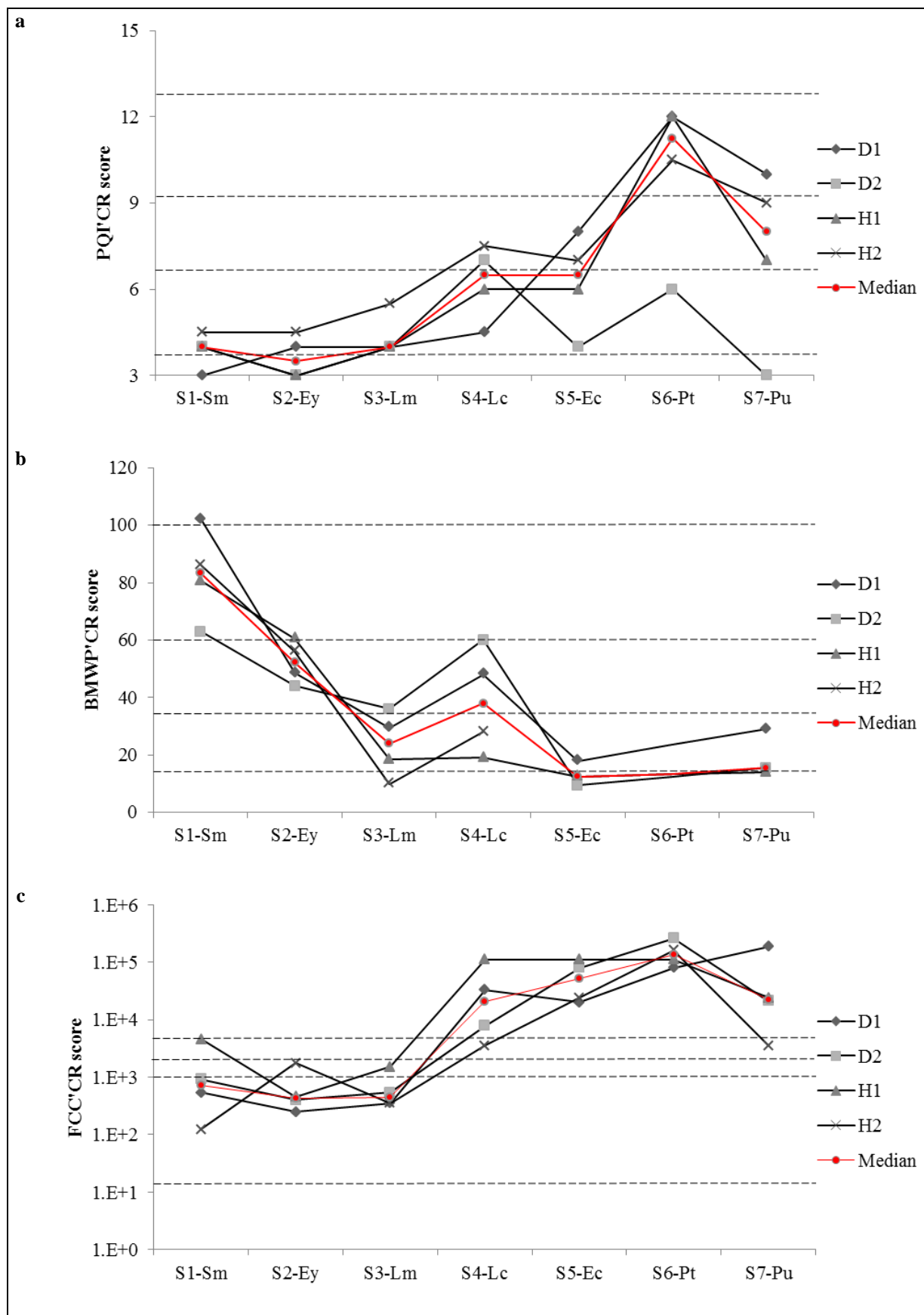


Fig. 5 H-index at sampling stations according to median WQI scores for: (a) PQI'CR. (b) BMWP'CR. (c) FCC'CR

Physical chemical index (PQI'CR)

The index increases from upstream to downstream stations (Fig. 5a), resulting in the impairment of the Liberia River physical chemical quality. The PQI'CR scores at upstream stations (S1-Sm, S2-Ey and S3-Lm) present small variation as a function of the hydrological conditions, between no pollution and incipient pollution. There, and at S4-Lc, H₂ conditions present higher PQI'CR median scores. Weathering of the extensive surface of natural area presenting steep canyons, could be adding significant amounts of organic matter among other compounds (see also Li et al. 2008) in this case affecting specially the oxygen levels (Fig. 6). The opposite occurs at downstream stations, where the worse water quality is present under very dry conditions as BOD₅ increased more than the other two parameters explaining this impairment. When the tributaries mainly fed by sewage effluents in urban conditions, become active (D₂), there is an observed improvement of water quality from potential dilution effect (Kannel et al. 2007).

The index shows high impairment particularly at the waste water treatment plant effluent (S6-Pt), where the maximum score reveals very severe pollution and the median score reveals severe pollution. However 4 km downstream this station highest median parameter scores (%DO = 3, BOD₅ = 5 and NH₄-N = 4), decrease at S7-Pu.

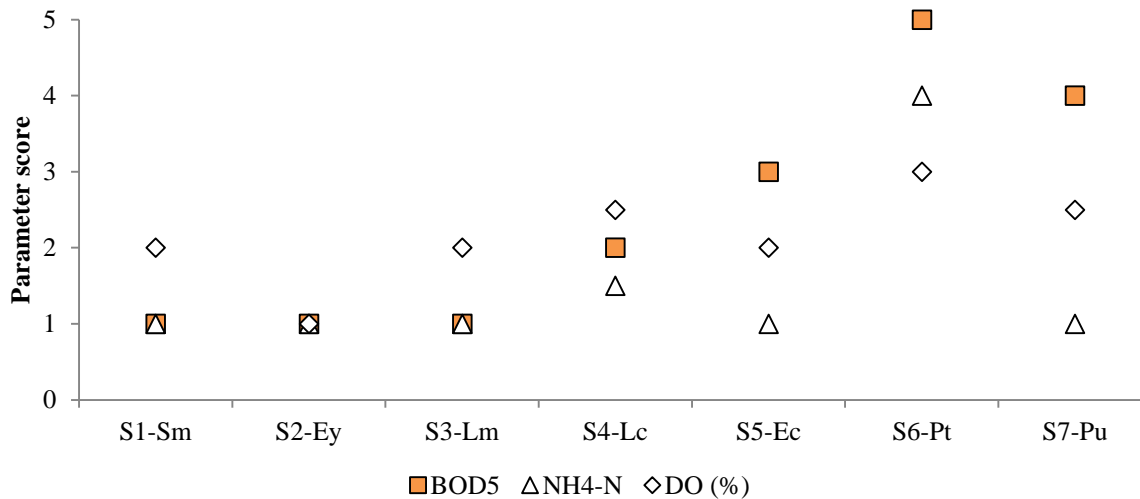


Fig. 6 Statistics of the PQI'CR median scores of each parameter at each station

Biological index (BMWP'CR)

Overall sampling campaigns, the diversity of benthic macroinvertebrates decreases downstream from a total of 31 observed families at S1-Sm, to 6 and 8 families at S5-Ec and S7-Pu respectively (Fig. 7). This reduction is

characterized by a drop in the number of families and fewer families gathering most of the observed percentage frequency. At S5-Ec this condition is intensified given that the Thiaridae -a pollution resistant family- gathers over 83% of the observed maximum percentage frequency.

The most abundant benthic families collected at S1-Sm are *Elmidae* and *Hydropsychidae* -two moderate pollution sensitive families (5 points) - and *Leptophlebiidae*, a highly sensitive family (8 points). At S2-Ey, the most abundant families are *Leptohyphidae* (5 points), *Hydrophyidae*, *Perlidae* (9 points) and *Pyralidae* (5 points) among 19 collected families. Eleven families were found at S3-Lm with *Leptohyphidae*, *Chironomidae* (2 points) and *Libellulidae* (6 points) being the most frequent. At S4-Lc, 18 families were identified among which *Chironomidae*, *Hydropsychidae* and *Caenidae* (4 points) are the most frequent. Six families were collected at S5-Ec among which *Thiaridae* is the most abundant one. Finally at S7-Pu, a total of eight families were collected among which *Chironomidae* and *Thiaridae* are the most abundant.

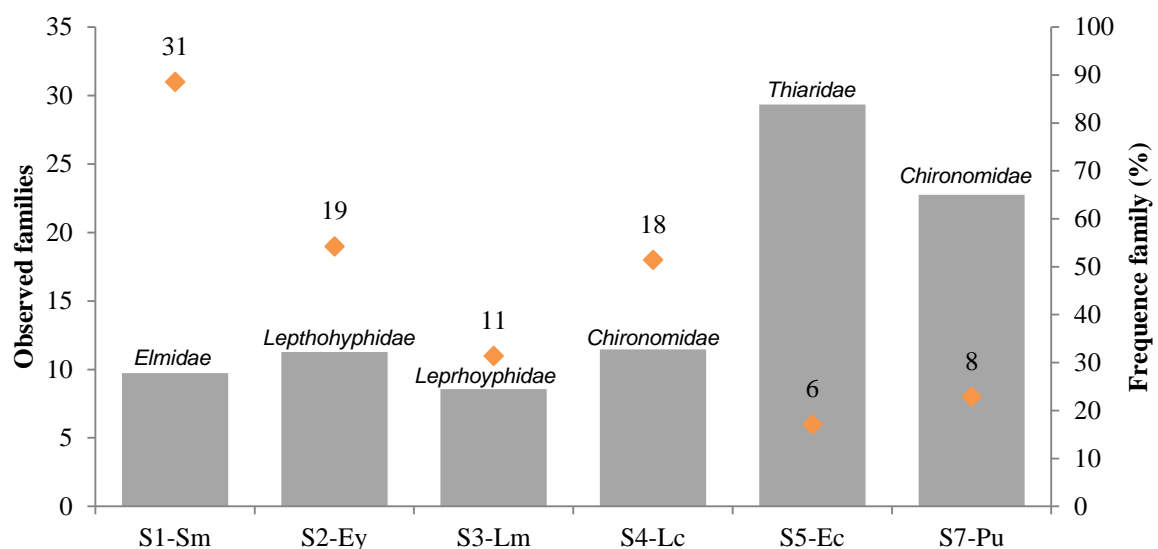


Fig. 7 Number of observed families at sampling stations and corresponding maximum single family frequency

There is an expected effect of climatic conditions to macroinvertebrates as they can be washed out or present resilient adaptation strategies (Morais et al. 2004). However, as shown in Fig. 5b, we are not able to determine if there are particular conditions on which macroinvertebrate are better adapted or affected. S1-Sm and S4-Lc show the largest variations, and S2-Ey and S5-Ec present the least. S1-Sm presents the highest score corresponding to excellent water quality in very dry conditions. After impoverishment of the index at S2-Ey and S3-Lm, water quality at station S4-Lc improves on dry and very dry conditions. Then again, the BMWP'CR decreases at downstream stations. The lowest minimal scores are observed at S3-Lm in very humid conditions, and in very dry conditions at S5-Ec and S7-Pu, corresponding to the worse water quality class.

Bacteriological index (FCC'CR)

The bacteriological analyses show that no stations are exempt from high fecal coliform abundance (Fig. 5c). Two different spatial distributions of FCC'CR are observed. Upstream stations S1-Sm, S2-Ey and S3-Lm are mainly 2nd class. Values increase in the remaining stations and present less variability around the 5th class. Median fecal coliform abundances allow protection of aquatic communities at S1-Sm, S2-Ey and S3-Lm (730, 400 and 445 ufc/100 ml, respectively), but the medians at downstream stations medians are significantly higher: 33 000, 36 500, 120 000 and 24 000 ufc/100 ml for S4-Lc, S5-Ec, S6-Pt and S7-Pu respectively. The FCC'CR scores present small variability and tends to increase under D₂ and H₂ rainfall hydrological conditions however very humid conditions can also result on water quality improvement as large loads from the urban effluents can be washed out or diluted.

Water quality under the influence of global and local pressures

The “Spearman and Permutation” statistical test shows that there is no significant auto-correlation in the WQI dataset. The p-value is 0.786 (respectively 0.120 and 0.058) for PQI'CR (respectively BMWP'CR and FCC'CR). WQI observations are consequently independent. Correlations between the global and local pressure descriptors and WQI scores and classes are shown in Table 7.

The general overview shows that the PQI'CR and the FCC'CR present high level of correlation (95% confidence interval, $r_a = 0.786$, $r_a = 0.657$ respectively) with several global and local pressure descriptors while the BMWP'CR presents smaller correlations and most of the time not significant (80% confidence interval, $r_a = 0.657$).

The PQI'CR scores (respectively PQI'CR classes) present significant correlations with 78.6% of the global and local pressure descriptors (respectively 59.5%). Only 23.8% and respectively 31.0% of the global and local pressure descriptors have a positive or negative correlation with the BMWP'CR scores and classes respectively. As for the FCC'CR, 35.7% of the global and local pressure descriptors (respectively 57.1%) show high correlation with FCC'CR scores (respectively FCC'CR classes). Therefore, physical chemical and bacteriological indexes seem to be more effective to identify the influence from the assessed pressure descriptors. The BMWP'CR is nonetheless, lightly correlated with coarse urban land use and particularly with sanitary facilities.

Scores and classes of the PQI'CR and the FCC'CR show positive correlations with agricultural and urban area coarse land uses and their corresponding intermediate and detailed categories excepting: perennial crops and roads. On the contrary, natural and semi-natural area (particularly because of the detailed preserved forest land use) is negatively correlated with the index. A similar situation is observed -with positive correlations- with the BMWP'CR.

This index shows non-significant correlation with coarse agricultural and urban land use areas. However, a negative correlation with detailed annual crop areas is observed corresponding to the correlation shown with intermediate agriculture land use level. The non-significant correlations with perennial crop and grazing areas explain why there is a non-significant correlation with the coarse agricultural land use. The intermediate built-up and public service areas, on the other hand, show a negative correlation explained by the detailed socio-economically vulnerable areas, sanitary facilities, hospital and main roads areas.

As several studies have observed, results suggest that urban and agriculture land uses are the most important predictors of water quality impairment while natural conditions and good riparian conditions predict better water quality (Fierro et al. 2017; Morais et al. 2004; Nash et al. 2009; Sliva and Dudley Williams 2001). Indeed, good riparian conditions can affectively contribute in reducing nutrient concentrations passing to the river and protecting macro-invertebrate communities (Anbumozhi et al. 2005; Miserendino et al. 2011; Sliva and Dudley Williams 2001). The local pressure descriptors assessed by the riparian conditions are highly correlated with the PQI'CR and the FCC'CR for both, scores and classes, with few exceptions. Scores of the BMWP'CR only present low correlation with the left riparian conditions.

Results on correlations between the WQIs scores and classes present a high degree of consistence between them with few exceptions. Therefore, management decisions are well supported with either scores or classes. All descriptors present similar degrees of correlation between scores and classes of the PQI'CR. Correlations with the classes of this index are more discriminating than with scores. The BMWP'CR presents higher correlation for scores than for classes with the riparian width and continuity, and higher correlation for classes than for scores with areas containing sanitary facilities. Remarkably, positive (negative) correlations with BMWP'CR classes are more (less) discriminating than correlations with BMWP'CR scores. The FCC'CR shows higher correlation for scores than for classes with left riparian width, while classes show higher correlation than scores with vertical connectivity, non-agriculture vegetation cover, preserved forests, agricultural areas, annual crops, commercial areas, sanitary facilities and main roads.

Table 7: Spearman correlations of local and global pressures descriptors with median WQI scores and median WQI classes.

	PQI'CR				BMWP'CR				FCC'CR			
	Score		Class		Score		Class		Score		Class	
Local pressures												
RQI	-0.955	***	-0.898	***	0.429	Ø	0.370	Ø	-0.857	***	-0.866	***
Left riparian width	-0.973	***	-0.925	***	0.657	*	0.617	Ø	-0.811	***	-0.874	***
Right riparian width	-0.497	Ø	-0.392	Ø	-0.030	Ø	-0.066	Ø	-0.670	*	-0.557	Ø
Left riparian continuity	-0.991	***	-0.954	***	0.657	*	0.617	Ø	-0.821	***	-0.866	***
Right riparian continuity	-0.855	***	-0.850	***	0.493	Ø	0.438	Ø	-0.937	***	-0.874	***
Left riparian vegetation	-0.973	***	-0.925	***	0.657	*	0.617	Ø	-0.811	***	-0.874	***
Right riparian vegetation	-0.972	***	-0.990	***	0.516	Ø	0.492	Ø	-0.815	***	-0.899	***
Ecological succession status	-0.954	***	-0.934	***	0.638	Ø	0.548	Ø	-0.837	***	-0.882	***
Bank conditions	-0.239	Ø	-0.133	Ø	-0.232	Ø	-0.188	Ø	-0.400	Ø	-0.367	Ø
Lateral connectivity	-0.227	Ø	-0.176	Ø	-0.147	Ø	-0.064	Ø	-0.393	Ø	-0.454	Ø
Vertical connectivity	-0.918	***	-0.850	***	0.543	Ø	0.617	Ø	-0.631	*	-0.874	***
Global pressures												
N1_natural and seminatural areas	-0.793	***	-0.767	**	0.429	Ø	0.432	Ø	-0.786	**	-0.866	***
N2_Non-agriculture vegetation cover	-0.901	***	-0.879	***	0.714	*	0.772	*	-0.679	*	-0.866	***
N3_Preserved forest	-0.901	***	-0.879	***	0.714	*	0.772	*	-0.679	*	-0.866	***
N3_Degraded Forest	-0.180	Ø	-0.094	Ø	-0.314	Ø	-0.309	Ø	-0.393	Ø	-0.289	Ø
N3_CharraI/tacotal	0.180	Ø	0.094	Ø	0.314	Ø	0.309	Ø	0.393	Ø	0.289	Ø
N2_Bare soil	-0.054	Ø	0.094	Ø	-0.600	Ø	-0.463	Ø	-0.071	Ø	0.000	Ø
N3_Rocky terrain	-0.054	Ø	0.094	Ø	-0.600	Ø	-0.463	Ø	-0.071	Ø	0.000	Ø
N1_Agricultural areas	0.898	***	0.854	***	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.741	**	0.899	***
N2_Agriculture	0.835	***	0.723	**	-0.541	Ø	-0.657	*	0.611	*	0.717	**
N3_Annual crop	0.835	***	0.723	**	-0.541	Ø	-0.657	*	0.611	*	0.717	**
N3_Perennial crop	0.309	Ø	0.214	Ø	-0.131	Ø	-0.424	Ø	0.000	Ø	0.354	Ø
N2_Grazing areas	0.898	***	0.854	***	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.741	**	0.899	***
N3_Grass	0.898	***	0.854	***	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.741	**	0.899	***
N1_Urban areas	0.927	***	0.935	***	-0.812	*	-0.736	*	0.901	***	0.874	***
N2_Built up areas	0.898	***	0.854	***	-0.638	Ø	-0.557	Ø	0.889	***	0.899	***
N3_Old city center	0.898	***	0.854	***	-0.638	Ø	-0.557	Ø	0.889	***	0.899	***
N3_Dense residential areas	0.898	***	0.854	***	-0.638	Ø	-0.557	Ø	0.889	***	0.899	***
N3_Light residential areas	0.898	***	0.854	***	-0.638	Ø	-0.557	Ø	0.889	***	0.899	***
N3_Socio-economically vulnerable areas	0.835	***	0.723	**	-0.676	*	-0.657	*	0.768	**	0.717	**
N2_Economic activity area	0.898	***	0.854	***	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.741	**	0.899	***
N3_Agroindustry	0.895	***	0.805	***	-0.541	Ø	-0.657	*	0.729	**	0.717	**
N3_Commercial area	0.841	***	0.777	**	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.704	*	0.899	***
N3_Industrial area	0.835	***	0.723	**	-0.541	Ø	-0.657	*	0.611	**	0.717	**
N2_Public services	0.927	***	0.935	***	-0.696	*	-0.736	*	0.829	***	0.874	***
N3_Public bureau or service	0.895	***	0.805	***	-0.541	Ø	-0.657	*	0.729	**	0.717	**
N3_Education	0.954	***	0.932	***	-0.516	Ø	-0.557	Ø	0.852	***	0.899	***
N3_Area containing sanitary facilities	0.800	***	0.765	**	-0.812	*	-0.892	***	0.613	*	0.728	**
N3_Hospital or clinic	0.835	***	0.723	**	-0.676	*	-0.657	*	0.768	**	0.717	**
N3_Squares and other public areas	0.898	***	0.854	***	-0.638	Ø	-0.557	Ø	0.889	***	0.899	***
N2_Roads	0.144	Ø	0.094	Ø	0.143	Ø	0.154	Ø	0.429	Ø	0.289	Ø
N3_Main national roads	0.835	***	0.723	**	-0.541	Ø	-0.657	*	0.611	*	0.717	**
N3_Secondary roads	-0.559	Ø	-0.505	Ø	0.600	Ø	0.463	Ø	-0.393	Ø	-0.289	Ø

Ø Confidence interval < 80%

* Confidence interval > 80%

** Confidence interval > 95%

*** Confidence interval > 98%

Conclusion

The efficiency of regulatory water quality indexes to assess anthropogenic global and local pressures was investigated in the Liberia River in Costa Rica through sampling campaigns conducted from 2013 to 2015 on seven water quality stations. Although very variable, upstream-downstream impairment of water quality was usually confirmed for physical chemical, biological and bacterial components. The impairment of the water quality observed shows: (i) That BOD₅ is the critical factor for the PQI'CR WQI, (ii) that serious loss of biodiversity and the dominance of a few pollution resistant families explains the BMWP'CR behavior, and (iii) that the presence of fecal coliform is increasing exponentially in urban areas.

We identified two different kinds of temporal variability based on hydrological conditions: less variable upstream stations and more variable downstream stations. The observed independence of stations supports their relevance for monitoring purposes. The influence of global and local pressures on water quality was revealed by correlation analysis. The PQI'CR with 95% confidence interval showed significant correlations with most land use and riparian descriptors. PQI'CR classes confirmed pressure in a discriminating way. The FCC'CR with 95% confidence interval was very effective in showing the negative influences of agriculture and of numerous urban descriptors and positive influences such as influences from riparian conditions. Only up to 80% of confidence interval, the BMWP'CR targets mainly urban influences.

The indexes specified in the regulation can effectively qualify surface water ecosystems particularly threatened by impacts of sources of organic matter pollution including fecal matter (PQI'CR and FCC'CR). BMWP'CR is based on determination of benthic invertebrates and shows its capacity to point out water degradation due to urban impacts. However, many conventional and emerging pollutants from human activities still cannot be identified by these indexes (Farré et al. 2008), particularly those originating from the waste water treatment plant (Rosal et al. 2010). There is still a significant challenge on the assessment of interacting threats in freshwater ecosystem that should be furtherly addressed (Craig et al. 2017). In an effort to integrate three physical-chemical parameters for operational reasons, the PQI'CR grading system makes it difficult to fully understand the conditions responsible for the impairment of water quality. Perhaps a widening of the scale would be possible, for instance from one to ten for each parameter instead of one to five, and the addition of other parameters. Furthermore, even if the FCC'CR is designed for sanitary purposes rather than for qualifying the condition of the aquatic ecosystem, it was sensitive to a wide range of global and local pressures. Even though the confidence interval is quite low, the BMWP'CR seems to be accurate to aim mitigation measures especially at urban areas. Generally speaking, the WQI scores and classes are coherent as the ranges appear to be appropriate for direct restauration and conservation actions as well as impact reducing measures. The present effort to test this capacity should be continued within this watershed and extended to other watersheds around the country.

References

- Ali, S., Ghosh, N.C., Singh, R., 2010. Rainfall–runoff simulation using a normalized antecedent precipitation index. *Hydrol. Sci. J.* 55, 266–274. <https://doi.org/10.1080/02626660903546175>
- Allan, J.D., 2004. Landscapes and Riverscapes: The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- Allan, J.D., Erickson, D., Fay, J., 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshw. Biol.* 37, 149–161. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.d01-546.x>

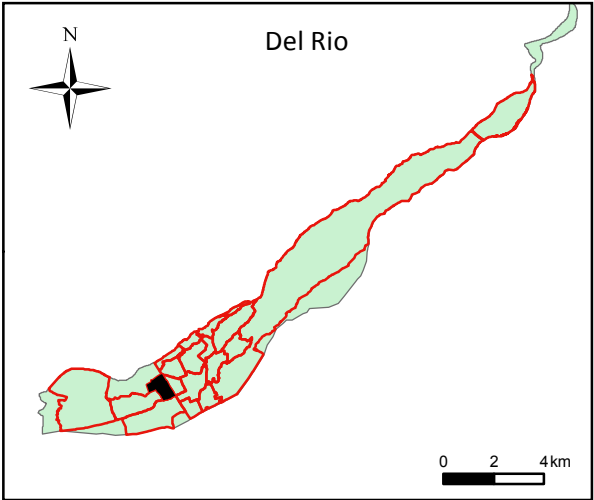
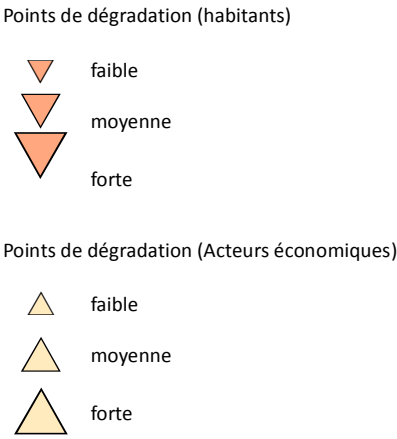
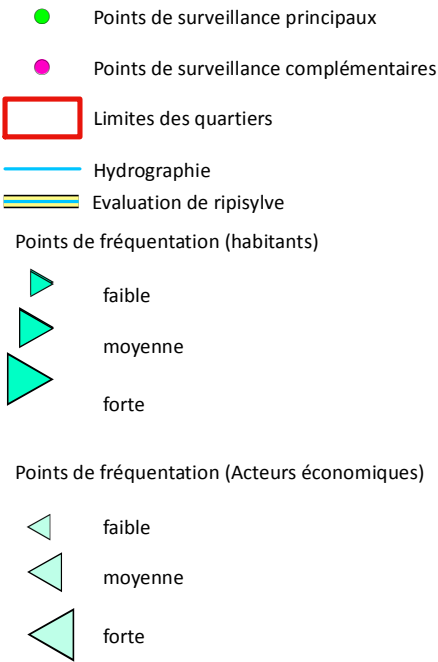
381 Anbumozhi, V., Radhakrishnan, J., Yamaji, E., 2005. Impact of riparian buffer zones on water quality and
 382 associated management considerations. *Ecol. Eng.* 24, 517–523.
 383 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.01.007>
 384 APHA-AWWA, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22. ed. ed. American
 385 Public Health Association, Washington, DC.
 386 Bahar, M.M., Ohmori, H., Yamamuro, M., 2008. Relationship between river water quality and land use in a
 387 small river basin running through the urbanizing area of Central Japan. *Limnology* 9, 19–26.
 388 <https://doi.org/10.1007/s10201-007-0227-z>
 389 Baker, A., 2005. Land Use and Water Quality, in: Anderson, M.G., McDonnell, J.J. (Eds.), *Encyclopedia of*
 390 *Hydrological Sciences*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
 391 Barbour, M.T., Gerritsen, B.D., Snyder, Stribling, J.B., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams
 392 and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish - Second Edition (No. EPA
 393 841-B-99-002). USEPA, Washington, D.C.
 394 Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., van de Bund, W., Zampoukas,
 395 N., Hering, D., 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete
 396 overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecol. Indic.* 18, 31–41.
 397 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
 398 Brill, G., Anderson, P., O'Farrell, P., 2017. Methodological and empirical considerations when assessing
 399 freshwater ecosystem service provision in a developing city context: Making the best of what we have.
 400 *Ecol. Indic.* 76, 256–274. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.006>
 401 Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., O'Connor, M.F., 1972. A Water Quality Index — Crashing the
 402 Psychological Barrier, in: Thomas, W.A. (Ed.), *Indicators of Environmental Quality*, Environmental
 403 Science Research. Springer US, pp. 173–182.
 404 Carvalho, L., Cortes, R., Bordalo, A.A., 2011. Evaluation of the ecological status of an impaired watershed by
 405 using a multi-index approach. *Environ. Monit. Assess.* 174, 493–508. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1473-9>
 406 Chavarria Espinoza, M.I., Noches Fernandez, L., 2010. Evaluacion de los Recursos Forestales Mundiales.
 407 Informe Nacional : Costa Rica (No. FRA2010/047). Organizacion de las Naciones Unidas para la
 408 Agricultura y la Alimentacion (FAO). Departamento Forestal, Roma.
 409 Craig, L.S., Olden, J.D., Arthington, A.H., Entekin, S., Hawkins, C.P., Kelly, J.J., Kennedy, T.A., Maitland,
 410 B.M., Rosi, E.J., Roy, A.H., Strayer, D.L., Tank, J.L., West, A.O., Wooten, M.S., 2017. Meeting the
 411 challenge of interacting threats in freshwater ecosystems: A call to scientists and managers. *Elem Sci*
 412 *Anth* 5, 72. <https://doi.org/10.1525/elementa.256>
 413 Dinius, S.H., 1987. Design of an index of water quality. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 23, 833–843.
 414 Dunnette, D.A., 1979. A geographically variable water quality index used in Oregon. *J. Water Pollut. Control*
 415 *Fed.* 51, 53–61.
 416 Espejo, L., Kretschmer, N., Oyarzún, J., Meza, F., Núñez, J., Maturana, H., Soto, G., Oyarzo, P., Garrido, M.,
 417 Suckel, F., Amezcaga, J., Oyarzún, R., 2012. Application of water quality indices and analysis of the
 418 surface water quality monitoring network in semiarid North-Central Chile. *Environ. Monit. Assess.* 184,
 419 5571–5588. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2363-5>
 420 Farré, M. la, Pérez, S., Kantiani, L., Barceló, D., 2008. Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites
 421 and transformation products in the aquatic environment. *TrAC Trends Anal. Chem.* 27, 991–1007.
 422 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.010>
 423 Fierro, P., Bertrán, C., Tapia, J., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Vergara, C., Cerna, C., Vargas-Chacoff, L.,
 424 2017. Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of
 425 macroinvertebrate assemblages. *Sci. Total Environ.* 609, 724–734.
 426 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.197>
 427 Goldstein, R.M., Carlisle, D.M., Meador, M.R., Short, T.M., 2006. Can Basin Land Use Effects on Physical
 428 Characteristics of Streams Be Determined at Broad Geographic Scales? *Environ. Monit. Assess.* 130,
 429 495–510. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9439-7>
 430 Hawkes, H.A., 1998. Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water*
 431 *Res.* 32, 964–968. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3)
 432 Heink, U., Kowarik, I., 2010. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental
 433 planning. *Ecol. Indic.* 10, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
 434 Horton, R.K., 1965. An index number system for rating water quality. *J. Water Pollut. Control Fed.* 37, 300–306.
 435 House, M.A., 1989. A Water Quality Index for River Management. *Water Environ. J.* 3, 336–344.
 436 <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1989.tb01538.x>
 437 IMN-Instituto Meteorologico Nacional, 2008. El clima, su variabilidad y cambio climatico en Costa Rica.
 438 Comité Regional de Recursos Hidraulicos, San Jose, Costa Rica.
 439

- INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2015. Anuario Estadístico 2012 - 2013 “Compendio de datos actualizados del país.” INEC-Instituto Nacional de Estadística y Censo, San Jose, Costa Rica.
- ITCR-Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2015. AtlasCR2014.
- Janzen, D.H., 1991. Historia natural de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Johnson, L.B., Host, G.E., 2010. Recent developments in landscape approaches for the study of aquatic ecosystems. *J. North Am. Benthol. Soc.* 29, 41–66. <https://doi.org/10.1899/09-030.1>
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S.R., Khan, S.P., 2007. Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment. *Environ. Monit. Assess.* 132, 93–110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Kohler, M.A., Linsley, R.K., 1951. Predicting de runoff from storm rainfall. *Weather Bur. US Dept Commer.*
- Krause, S., Jacobs, J., Voss, A., Bronstert, A., Zehe, E., 2008. Assessing the impact of changes in landuse and management practices on the diffuse pollution and retention of nitrate in a riparian floodplain. *Sci. Total Environ.* 389, 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.08.057>
- Lalande, N., 2013. Multiscale impacts of land uses on river ecological status - Design and implementation of an analysis and modelling framework (Thèse doctorale). AgroParisTech.
- Lalande, N., Cernesson, F., Decherf, A., Tournoud, M.-G., 2014. Implementing the DPSIR framework to link water quality of rivers to land use: methodological issues and preliminary field test. *Int. J. River Basin Manag.* 12, 201–217. <https://doi.org/10.1080/15715124.2014.906443>
- Lammert, M., Allan, J.D., 1999. Assessing biotic integrity of streams: Effects of scale in measuring the influence of land Use/Cover and habitat structure on fish and macroinvertebrates. *Environ. Manage.* 23, 257–270. <https://doi.org/10.1007/s002679900184>
- Lewis Jr., W.M., 2008. 1 - Physical and Chemical Features of Tropical Flowing Waters, in: Dudgeon, D. (Ed.), *Tropical Stream Ecology*. Academic Press, London, pp. 1–21.
- Li, S., Gu, S., Liu, W., Han, H., Zhang, Q., 2008. Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin, China. *CATENA* 75, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.06.005>
- Loelkes, G.L., (U.S.), G.S., 1983. Land use/land cover and environmental photointerpretation keys. U.S. Dept. of the Interior, Geological Survey.
- MINAE-Ministerio de Ambiente y Energía, 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Diario Oficial La Gaceta.
- Miserendino, M.L., Casaux, R., Archangelsky, M., Yanina Di Prinzio, C., Brand, C., Mabel Kutschker, A., 2011. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Sci. Total Environ.* 409, 612–624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.034>
- Morais, M., Pinto, P., Guilherme, P., Rosado, J., Antunes, I., 2004. Assessment of temporary streams: the robustness of metric and multimetric indices under different hydrological conditions. *Hydrobiologia* 516, 229–249. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000025268.66163.32>
- Nash, M.S., Heggem, D.T., Ebert, D., Wade, T.G., Hall, R.K., 2009. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon. *Environ. Monit. Assess.* 156, 343–360. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0489-x>
- NOAA National Data Centers, 2015. LIBERIA, CSGHCN-Daily CSV. US Department of commerce.
- Novotny, V., Bartošová, A., O'Reilly, N., Ehlinger, T., 2005. Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Res.* 39, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.09.002>
- Pingault, N., Préault, B., 2007. Indicateurs de développement durable: un outil de diagnostic et d’aide à la décision. *Notes Études Économiques* 28, 7–43.
- Ramos, M.A.G., Bueno de Oliveira, E.S., Pião, A.C.S., Nalin de Oliveira Leite, D.A., de Franceschi de Angelis, D., 2016. Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil. *Environ. Monit. Assess.* 188. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5261-z>
- Rosal, R., Rodríguez, A., Perdigón-Melón, J.A., Petre, A., García-Calvo, E., Gómez, M.J., Agüera, A., Fernández-Alba, A.R., 2010. Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water Res.* 44, 578–588. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.004>
- Sliva, L., Dudley Williams, D., 2001. Buffer Zone versus Whole Catchment Approaches to Studying Land Use Impact on River Water Quality. *Water Res.* 35, 3462–3472. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00062-8)
- Solano Quintero, J., Villalobos Flores, R., 2001. Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. *Top. Meteorol. Oceanogr.* 8, 26–39.
- Springer, M., Ramirez, A., Hanson, P., 2010. Manual de Macroinvertebrados Acuáticos de Costa Rica I. *Rev. Biol. Trop.*

500 Tánago, M.G. del, Lastra, D.G. de J., 2011. Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterising and
 501 assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica* 30, 235–254.
 502 Uemaa, E., Mander, Ü., Marja, R., 2012. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators:
 503 A review. *Ecol. Indic.* 28, 100–106.
 504 Villalobos Flores, R., Jimenez Rodriguez, E., Hernandez Espinoza, K., Cordoba Peraza, J., Solano Mora, P.,
 505 2013. Descripcion del Clima del Canton de Liberia. Instituto Meteorologico Nacional (IMN).
 506

**Annexe 4 : Fiches des points de fréquentation et de dégradation perçue des
quartiers de la zone d'étude**

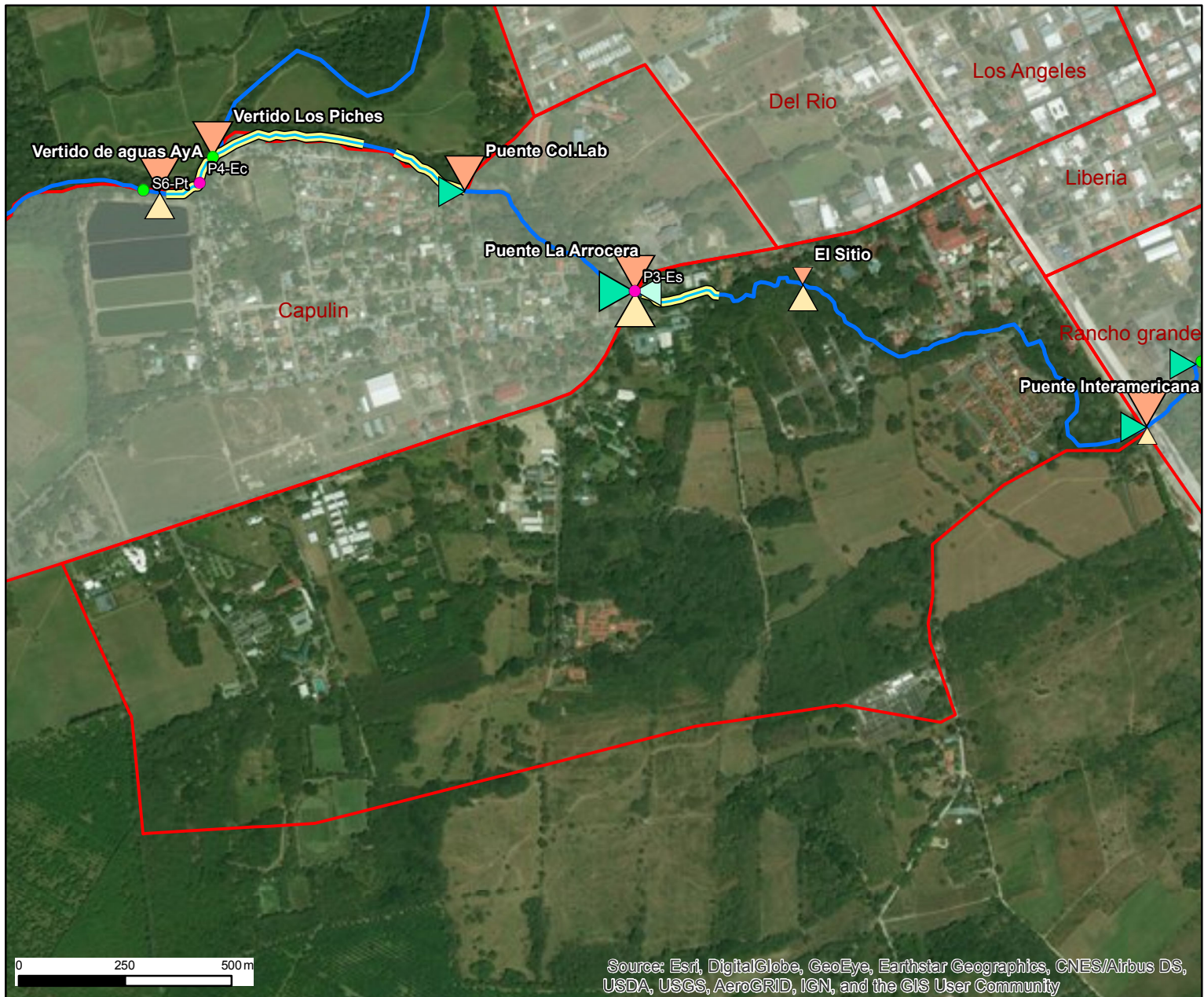
Fiche : Quartier Del Rio



Informations générales

Surface : 57,63 ha.
Population : 200 hab.
Densité : 3,47 hab/ha.

Fiche : Quartier El Sitio



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires

Limites des quartiers

— Hydrographie

— Evaluation de ripisylve

Points de fréquentation (habitants)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte

Points de fréquentation (Acteurs économiques)

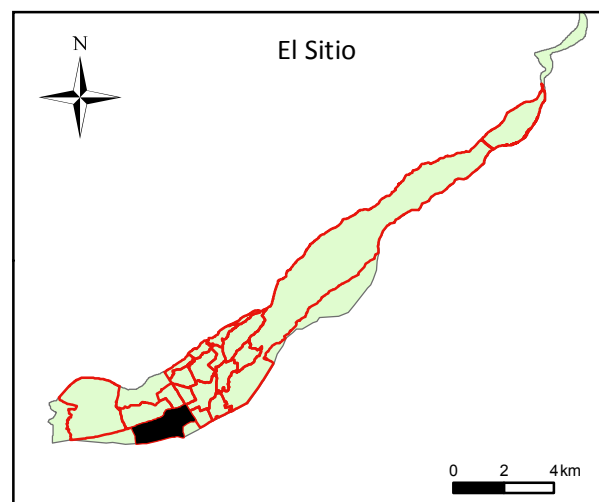
- ◀ faible
- ◀◀ moyenne
- ◀◀◀ forte

Points de dégradation (habitants)

- ▼ faible
- ▼▼ moyenne
- ▼▼▼ forte

Points de dégradation (Acteurs économiques)

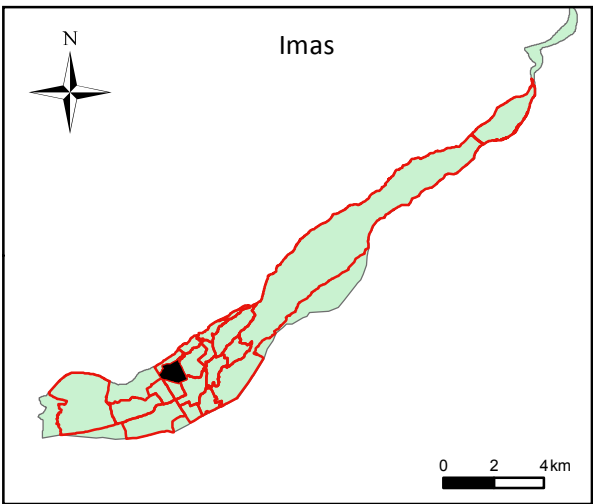
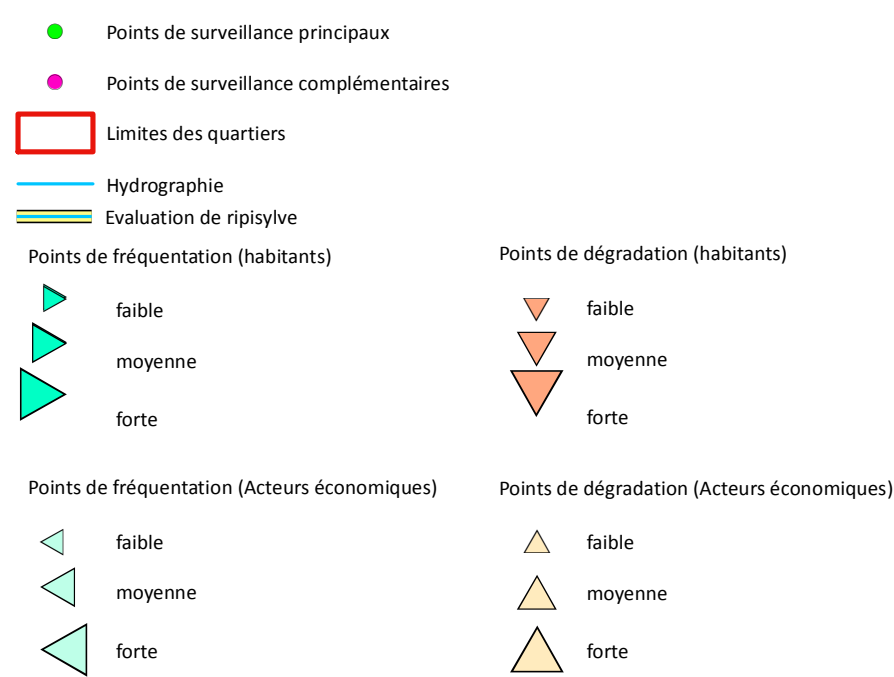
- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte



Informations générales

Surface : 197,53 ha.
Population : 649 hab.
Densité : 3,29 hab/ha.

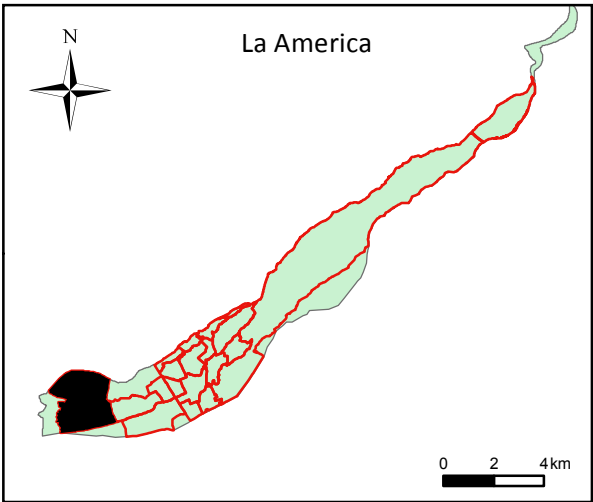
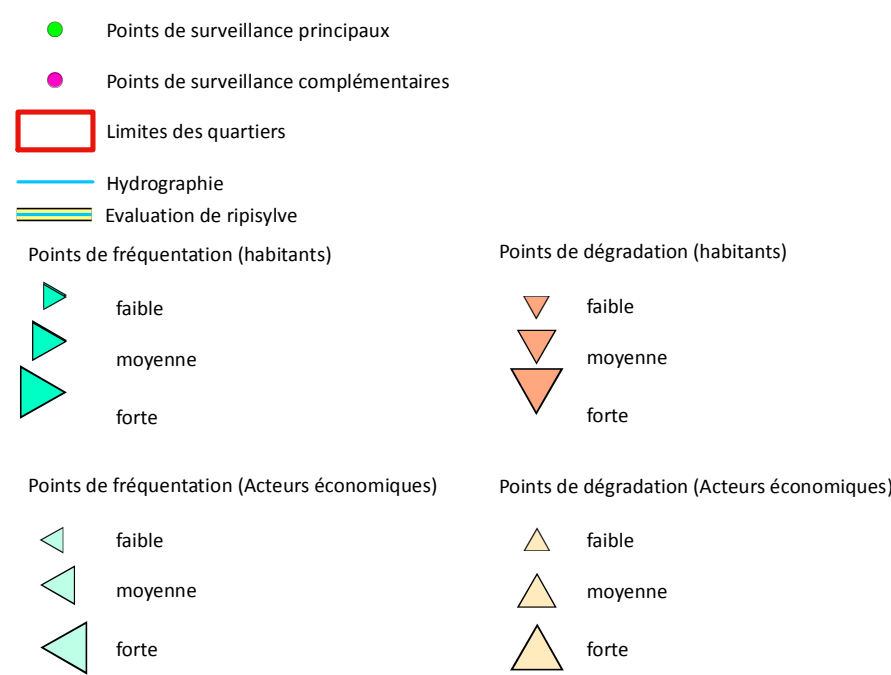
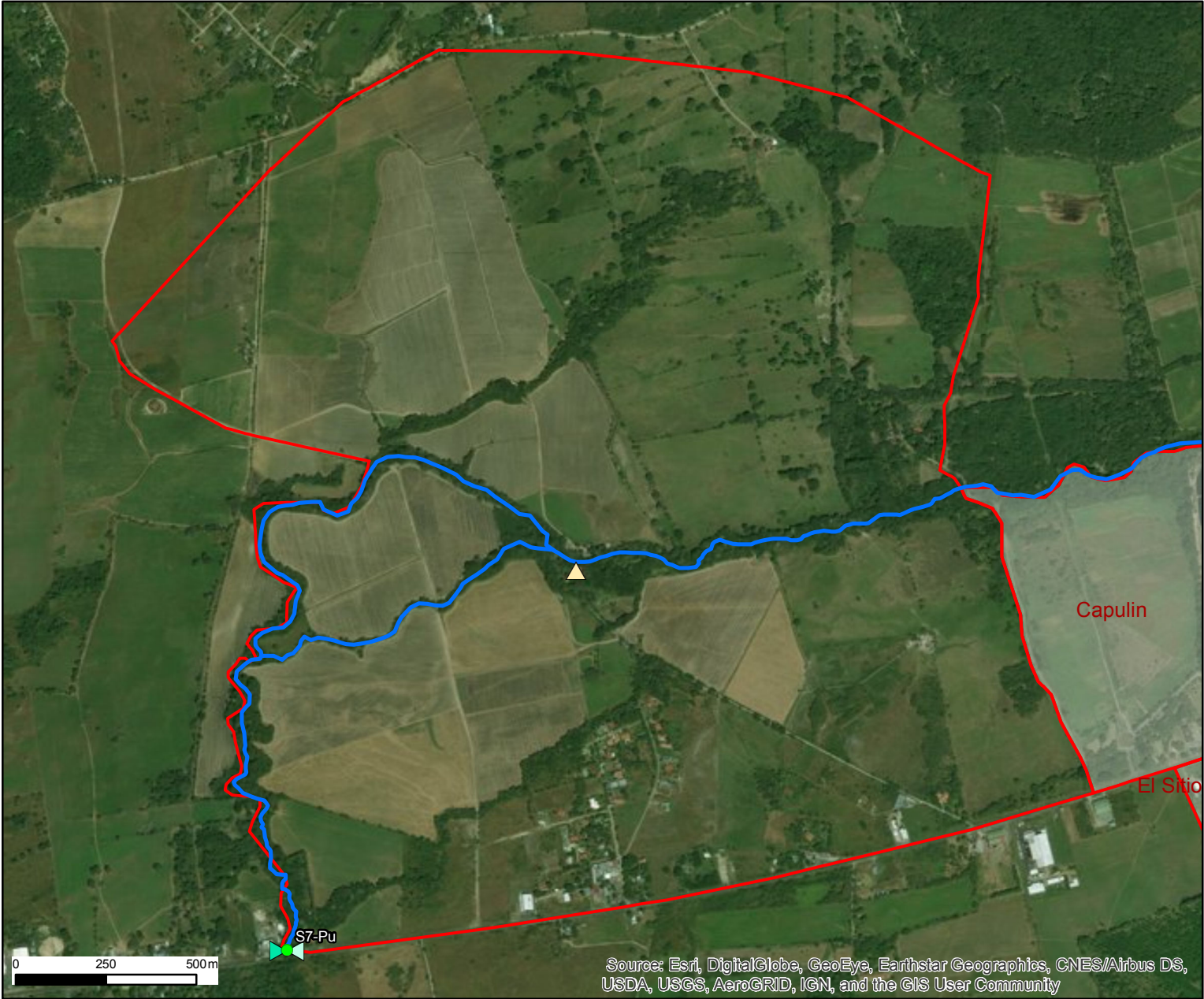
Fiche : Quartier Imas



Informations générales

Surface : 57,08 ha.
Population : 884 hab.
Densité : 15,49 hab/ha.

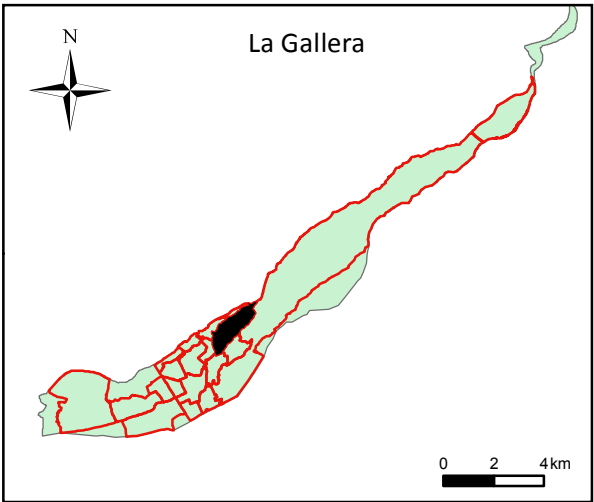
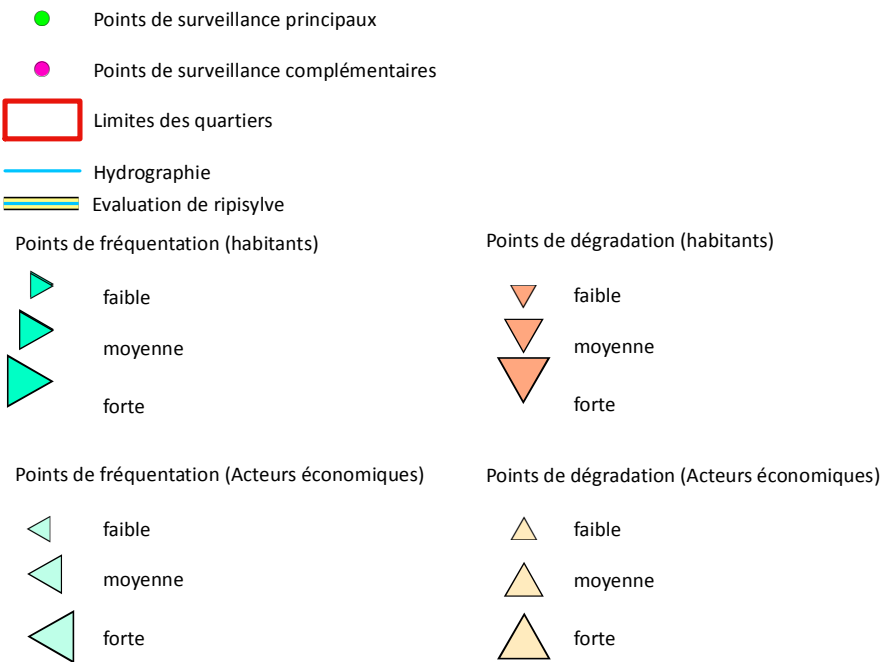
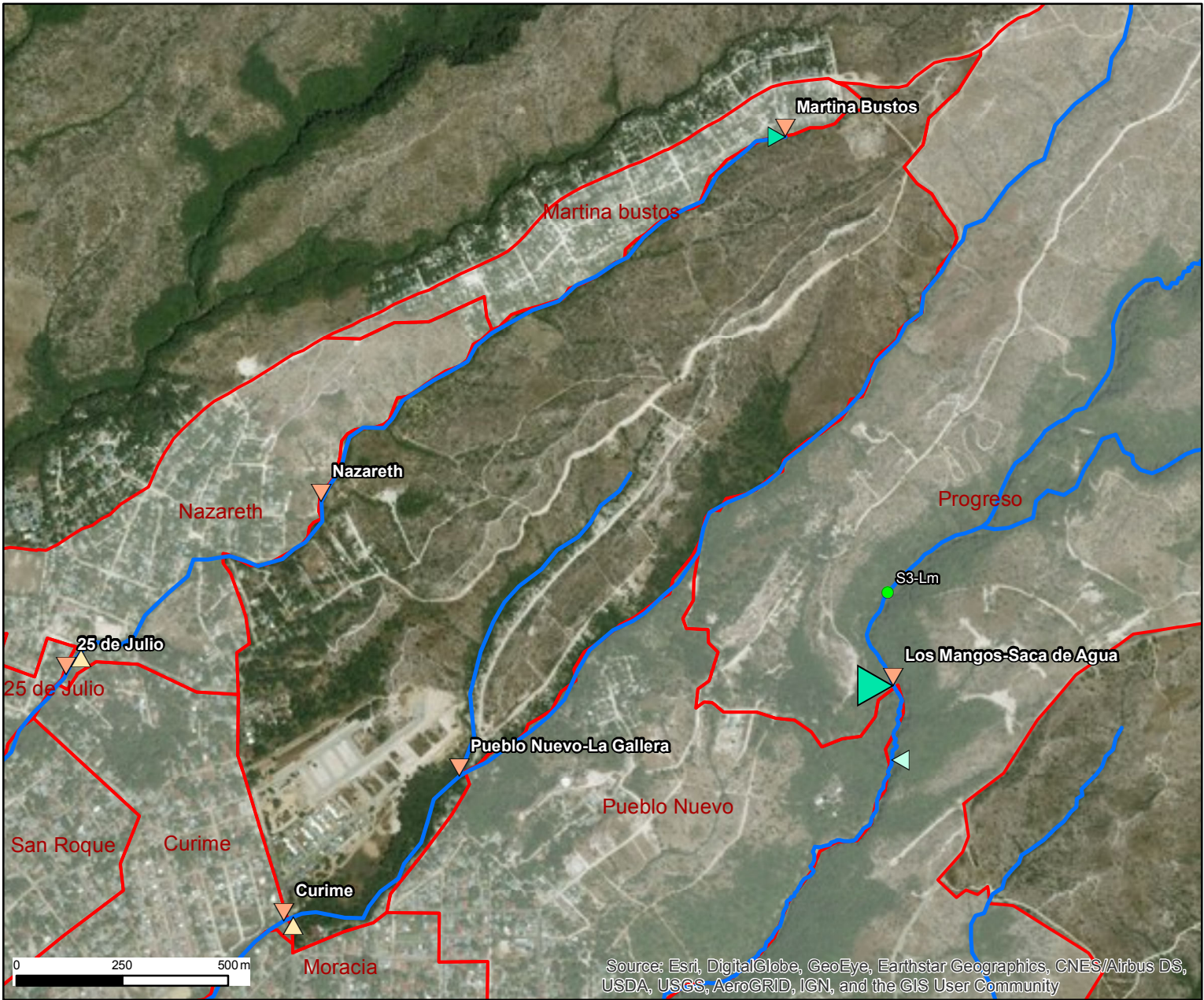
Fiche : Quartier La America



Informations générales

Surface : 460,79 ha.
Population : 87 hab.
Densité : 0,19 hab/ha.

Fiche : Quartier La Gallera



Informations générales

Surface : 141,79 ha.
Population : 377 hab.
Densité : 2,66 hab/ha.

Fiche : Quartier La Victoria



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires

Limites des quartiers

— Hydrographie

— Evaluation de ripisylve

Points de fréquentation (habitants)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte

Points de dégradation (habitants)

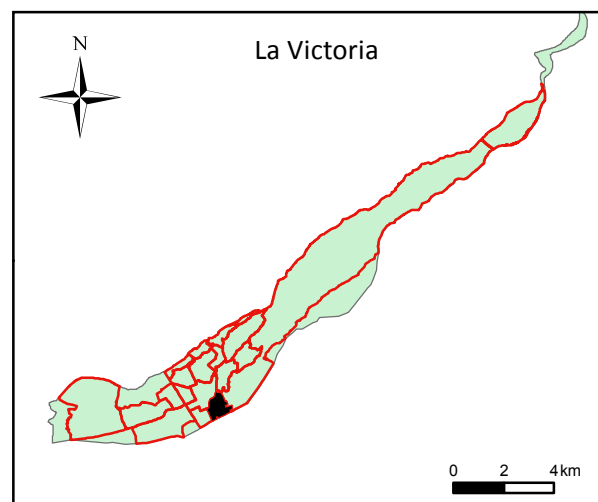
- ▼ faible
- ▼▼ moyenne
- ▼▼▼ forte

Points de fréquentation (Acteurs économiques)

- ◀ faible
- ◀◀ moyenne
- ◀◀◀ forte

Points de dégradation (Acteurs économiques)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte



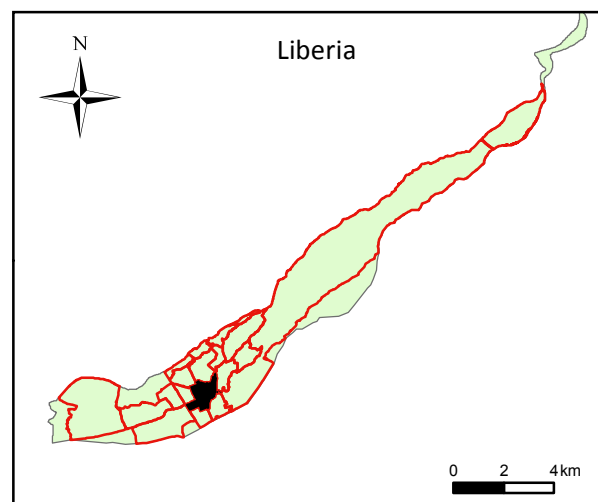
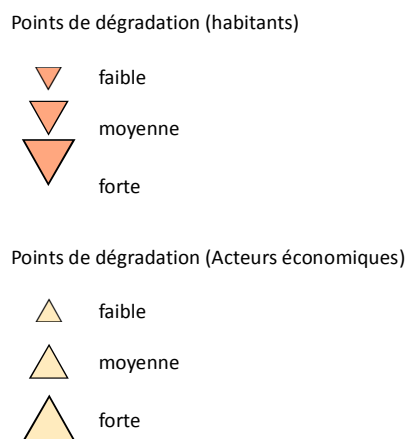
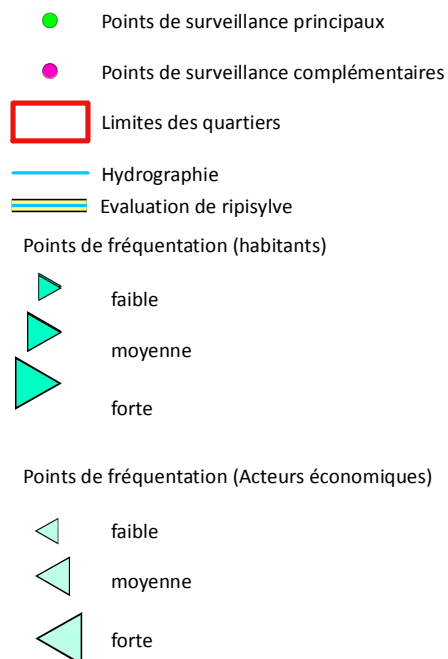
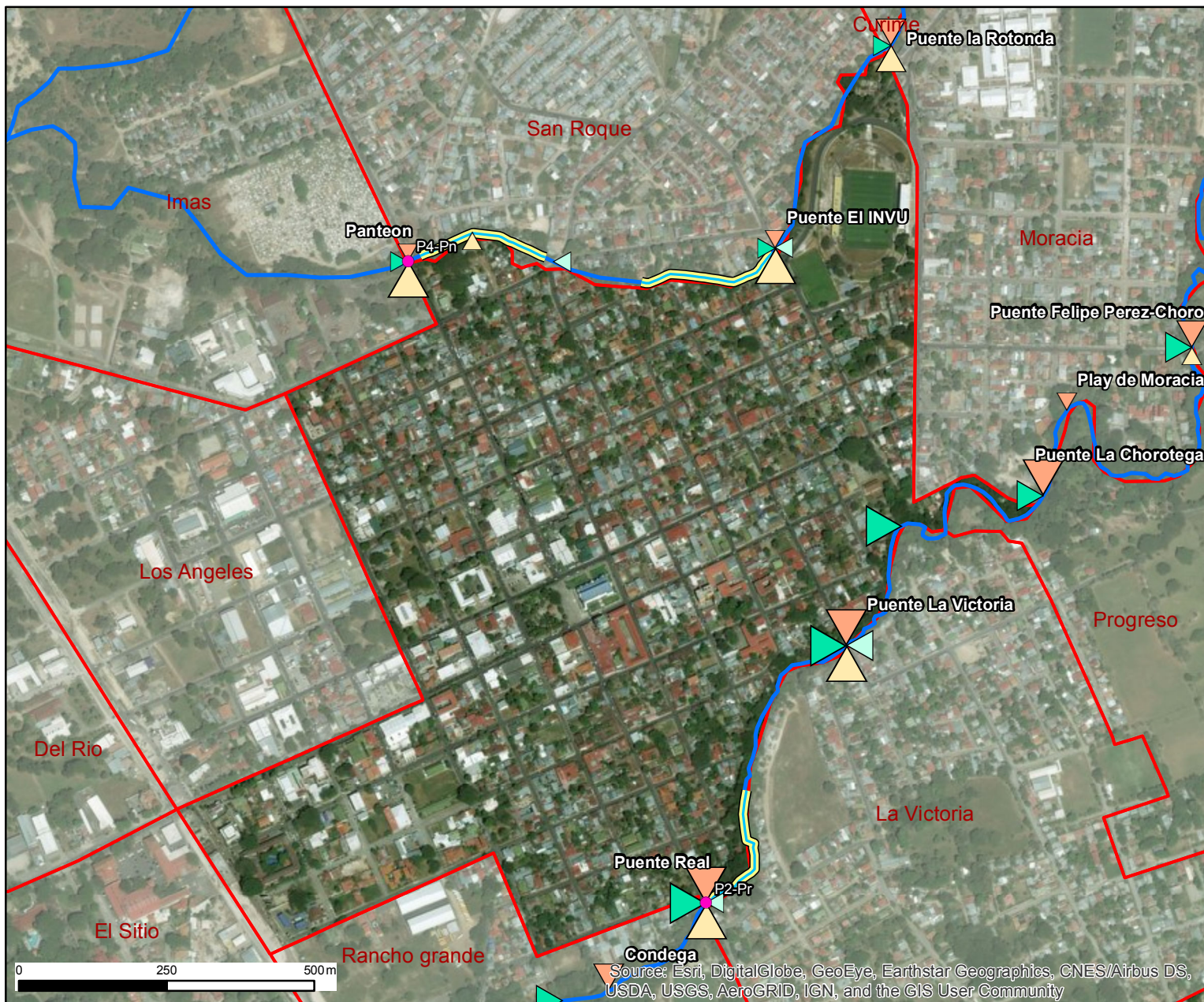
Informations générales

Surface : 56,74 ha.

Population : 2 910 hab.

Densité : 51,29 hab/ha.

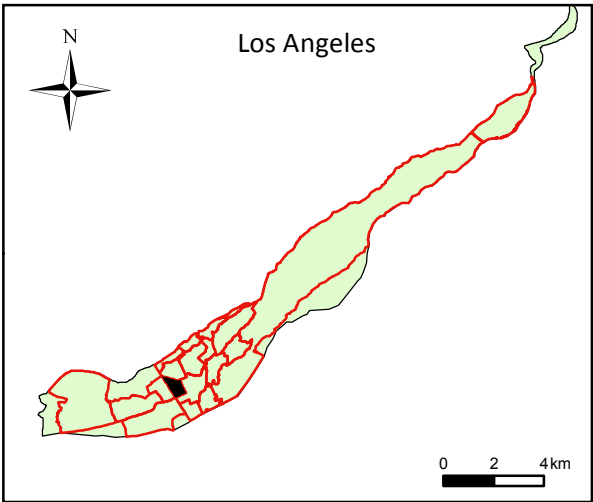
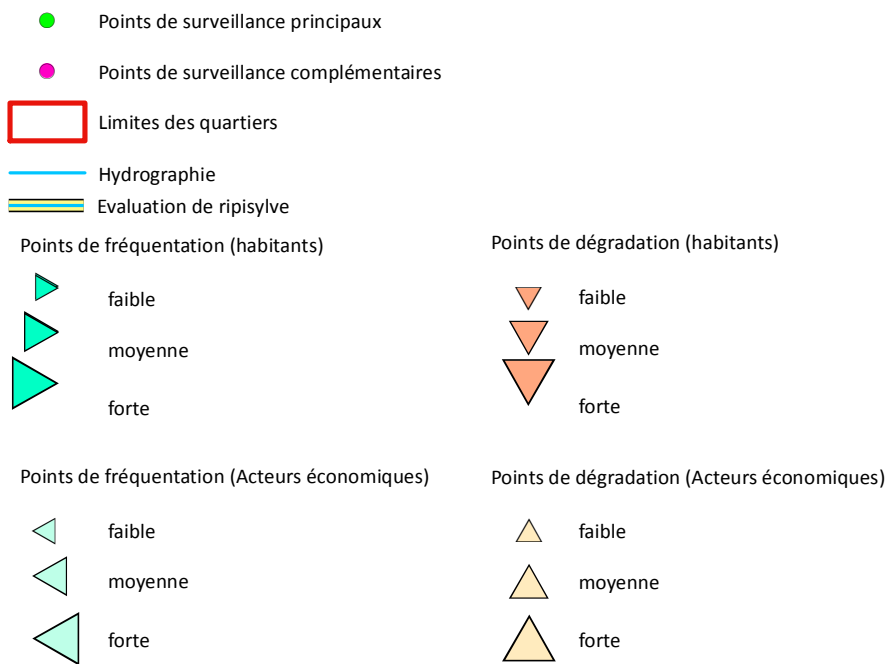
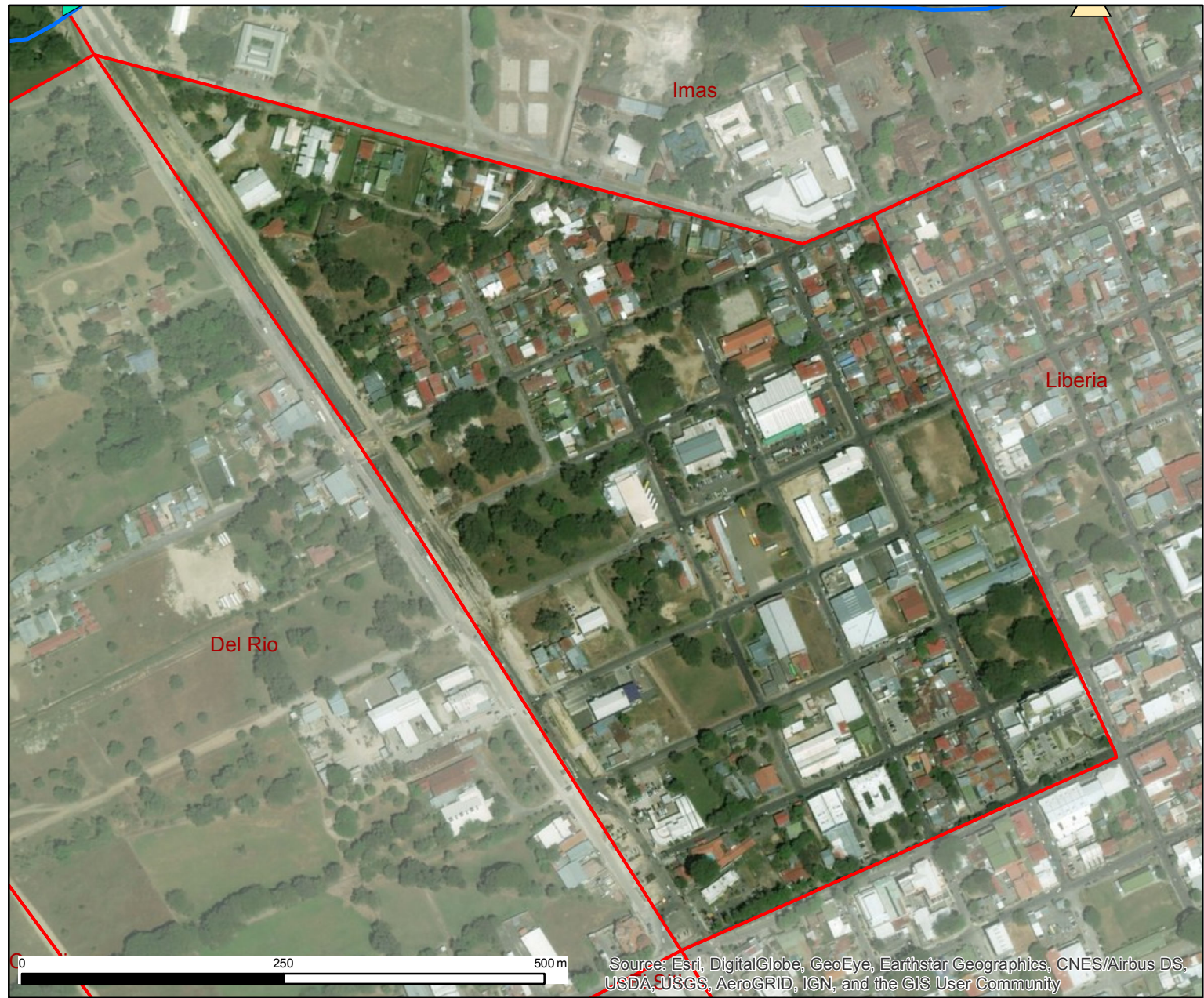
Fiche : Quartier Liberia



Informations générales

Surface : 99,81 ha.
 Population : 3 945 hab.
 Densité : 39,50 hab/ha.

Fiche : Quartier Los Angeles



Informations générales

Surface : 99,81 ha.
Population : 3 945 hab.
Densité : 39,50 hab/ha.

Fiche : Quartier Martina Bustos



- Points de surveillance principaux

Points de surveillance complémentaires

Limites des quartiers

Hydrographie

Evaluation de ripisylve
- Points de fréquentation (habitants)

faible

moyenne

forte
- Points de fréquentation (Acteurs économiques)

faible

moyenne

forte
- Points de dégradation (habitants)

faible

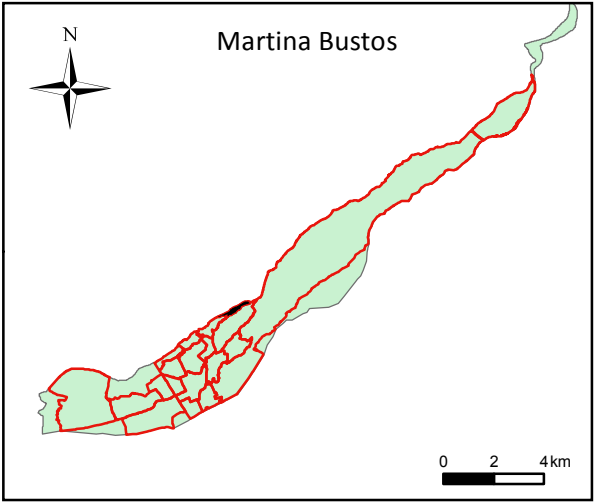
moyenne

forte
- Points de dégradation (Acteurs économiques)

faible

moyenne

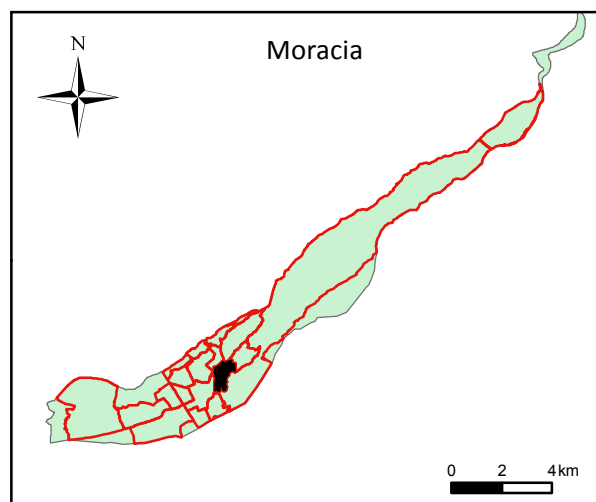
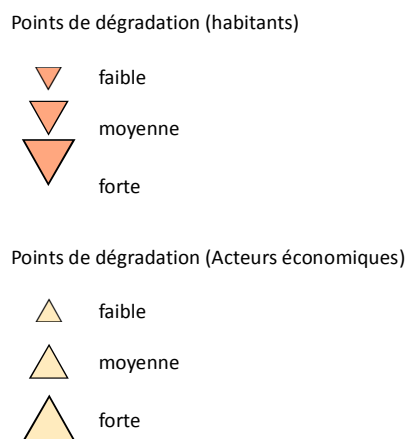
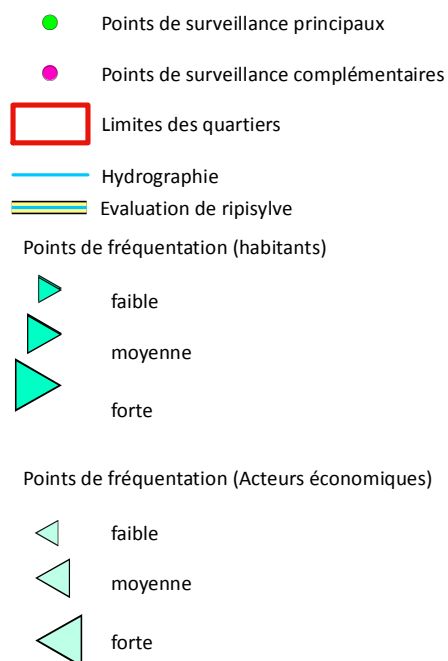
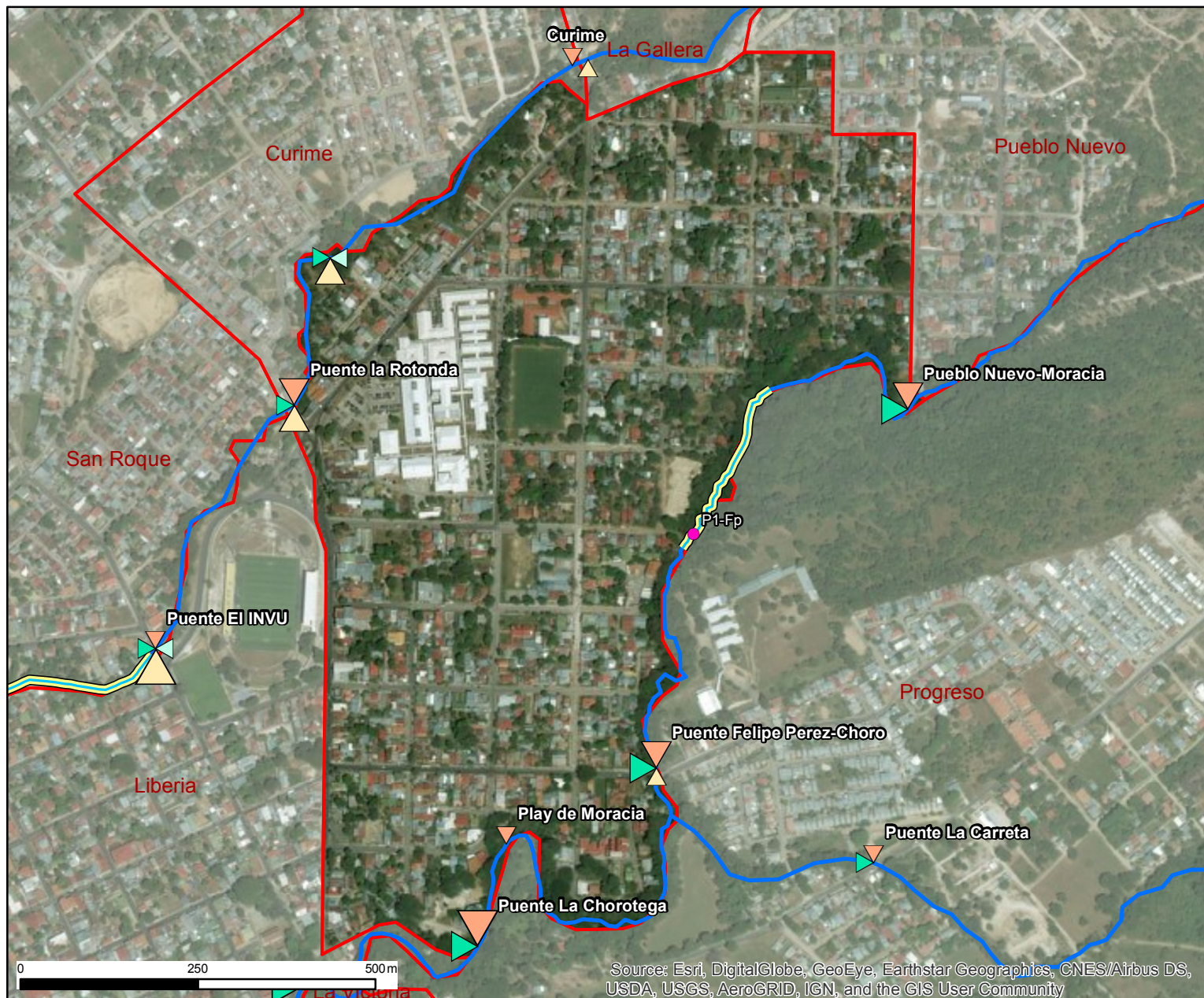
forte



Informations générales

Surface : 15,55 ha.
Population : 764 hab.
Densité : 49,13 hab/ha.

Fiche : Quartier Moracia



Informations générales

Surface : 68,36 ha.
 Population : 3 832 hab.
 Densité : 56,06 hab/ha.

Fiche : Quartier Nazareth



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires

Limites des quartiers

— Hydrographie

— Evaluation de ripisylve

Points de fréquentation (habitants)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte

Points de fréquentation (Acteurs économiques)

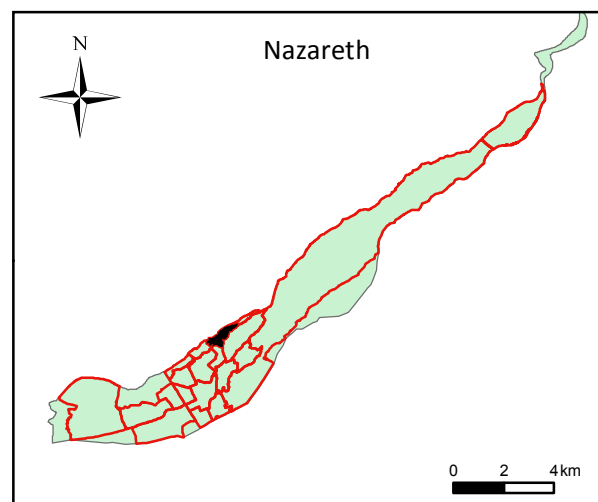
- ◀ faible
- ◀◀ moyenne
- ◀◀◀ forte

Points de dégradation (habitants)

- ▼ faible
- ▼▼ moyenne
- ▼▼▼ forte

Points de dégradation (Acteurs économiques)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte



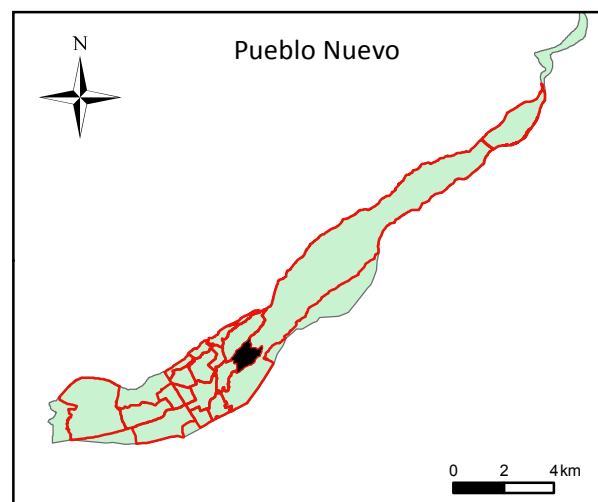
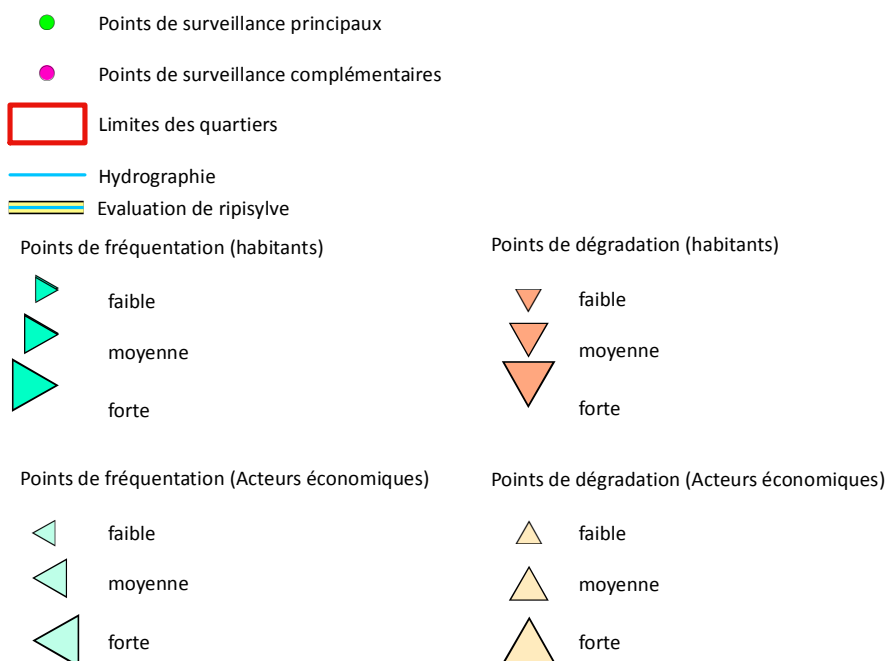
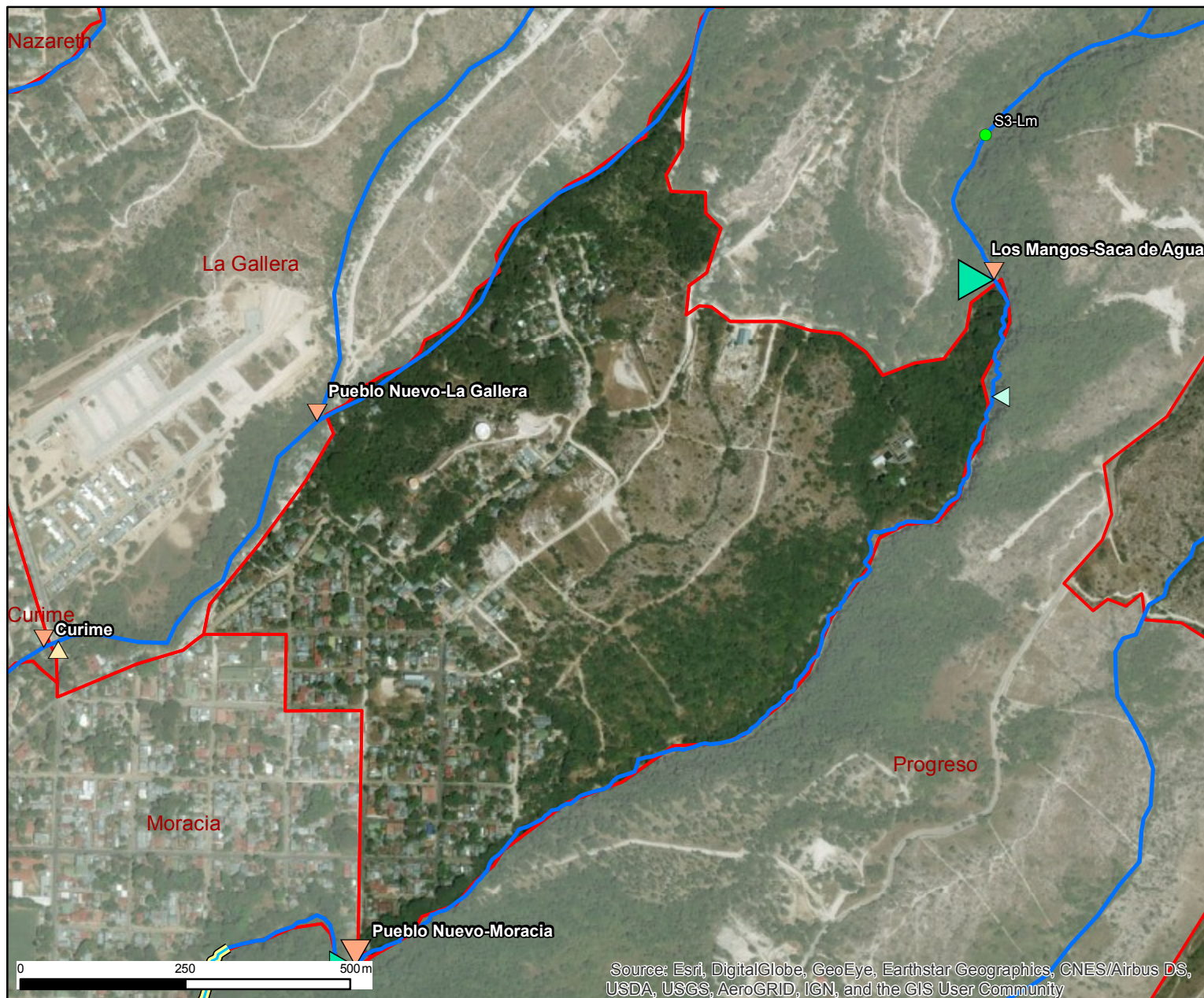
Informations générales

Surface : 40,60 ha.

Population : 1 795 hab.

Densité : 44,21 hab/ha.

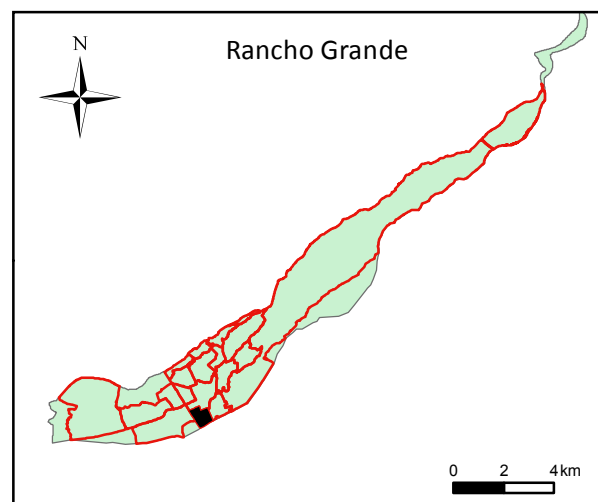
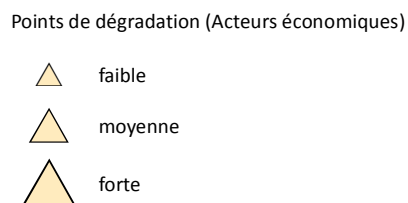
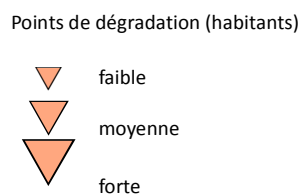
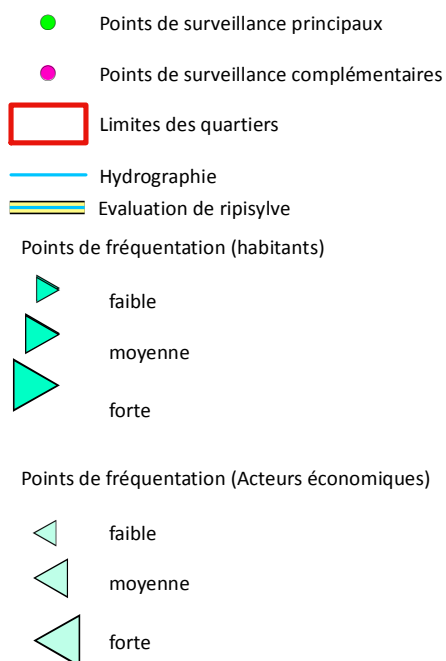
Fiche : Quartier Pueblo Nuevo



Informations générales

Surface : 99,81 ha.
Population : 3 945 hab.
Densité : 39,50 hab/ha.

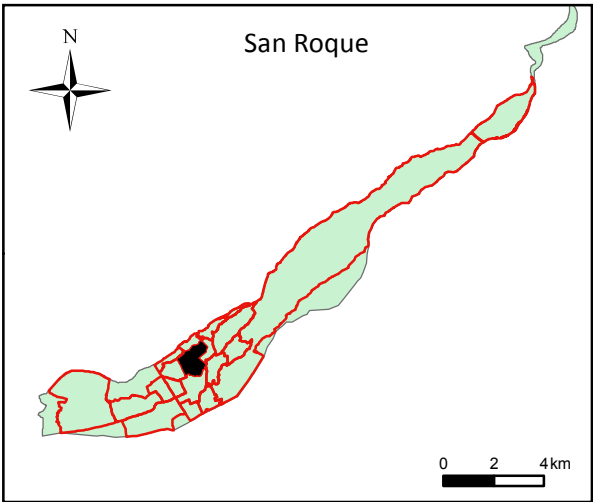
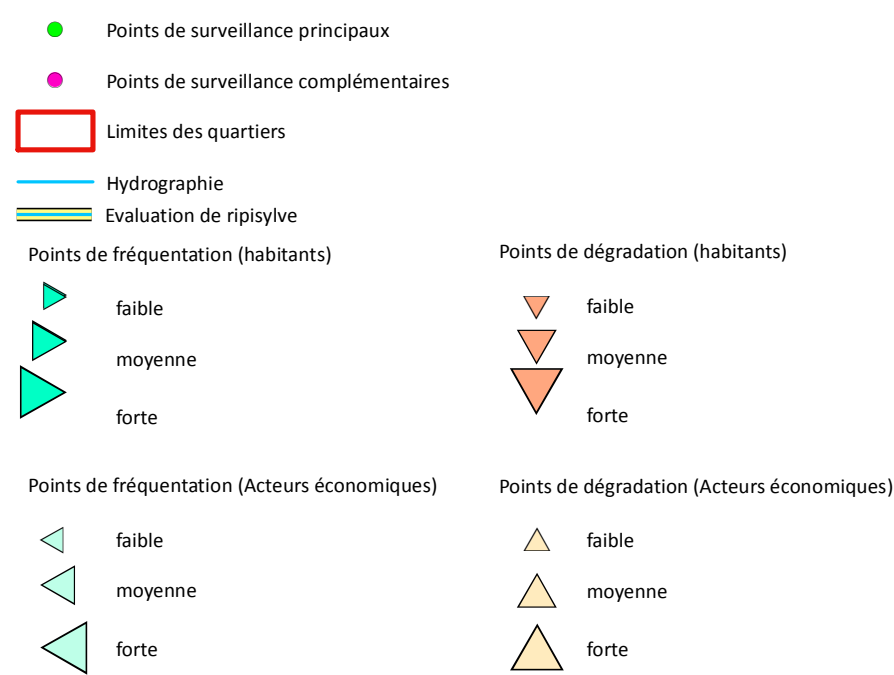
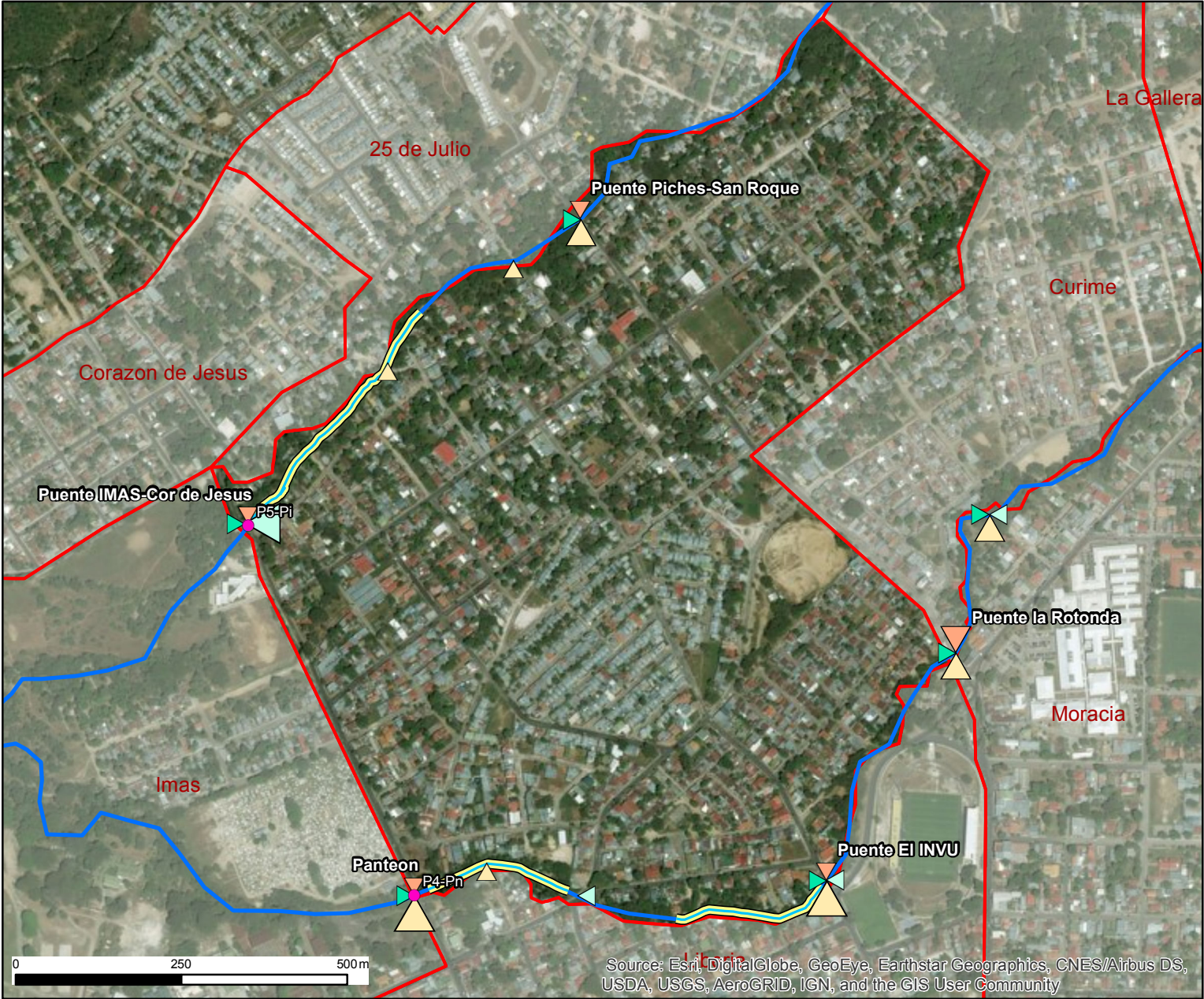
Fiche : Quartier Rancho Grande



Informations générales

Surface : 42,38 ha.
Population : 353 hab.
Densité : 8,33 hab/ha.

Fiche : Quartier San Roque



Informations générales

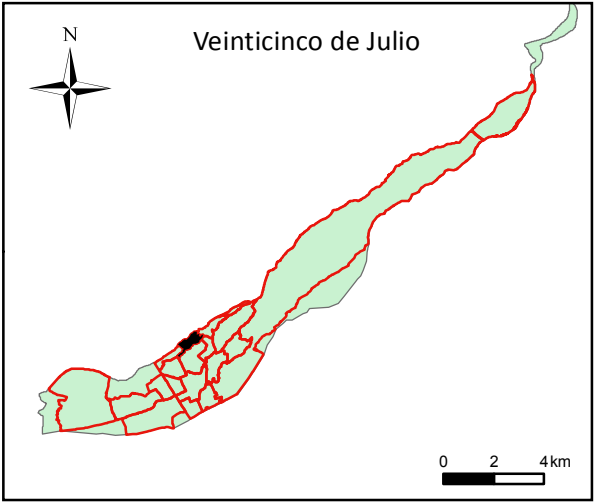
Surface : 90,86 ha.
Population : 7 780 hab.
Densité : 85,63 hab/ha.

Fiche : Quartier Veinticinco de Julio



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires
- Limites des quartiers
- Hydrographie
- Evaluation de ripisylve
- Points de fréquentation (habitants)
- faible
- moyenne
- forte
- Points de fréquentation (Acteurs économiques)
- faible
- moyenne
- forte

- Points de dégradation (habitants)
- faible
- moyenne
- forte
- Points de dégradation (Acteurs économiques)
- faible
- moyenne
- forte



Informations générales

Surface : 70,37 ha.
Population : 2 387 hab.
Densité : 39,50 hab/ha.

Fiche : Quartier Capulin



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires

Limites des quartiers

— Hydrographie

— Evaluation de ripisylve

Points de fréquentation (habitants)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte

Points de fréquentation (Acteurs économiques)

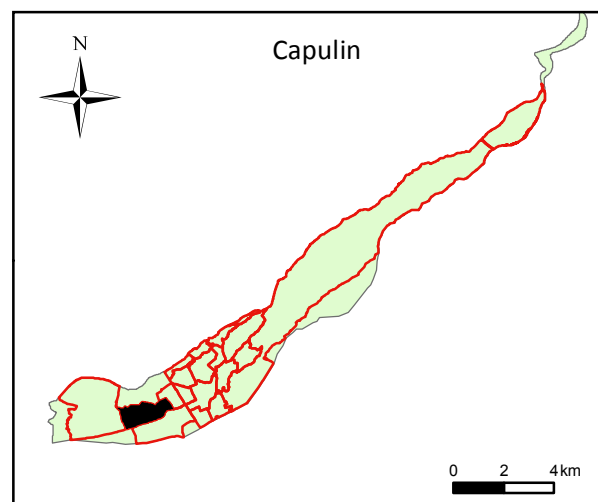
- ◀ faible
- ◀◀ moyenne
- ◀◀◀ forte

Points de dégradation (habitants)

- ▼ faible
- ▼▼ moyenne
- ▼▼▼ forte

Points de dégradation (Acteurs économiques)

- ▲ faible
- ▲▲ moyenne
- ▲▲▲ forte



Informations générales

Surface : 139,89 ha.

Population : 1 863 hab.

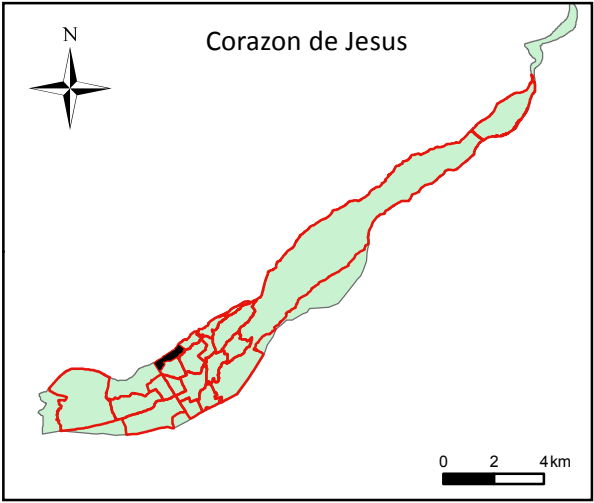
Densité : 13,32 hab/ha.

Fiche : Quartier Corazon de Jesus



- Points de surveillance principaux
- Points de surveillance complémentaires
- Limites des quartiers
- Hydrographie
- Evaluation de ripisylve
- Points de fréquentation (habitants)
- faible
- moyenne
- forte
- Points de fréquentation (Acteurs économiques)
- faible
- moyenne
- forte

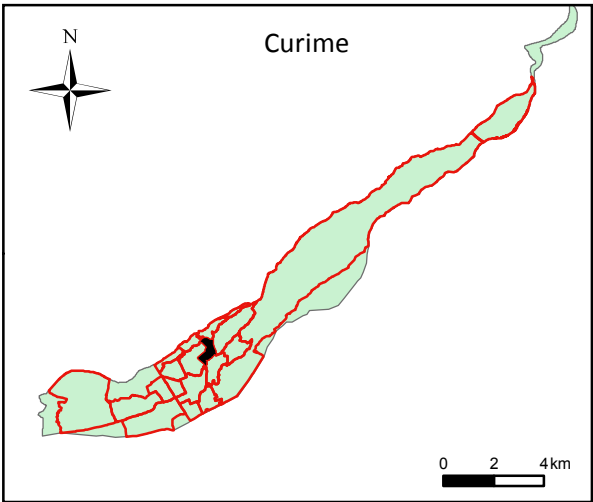
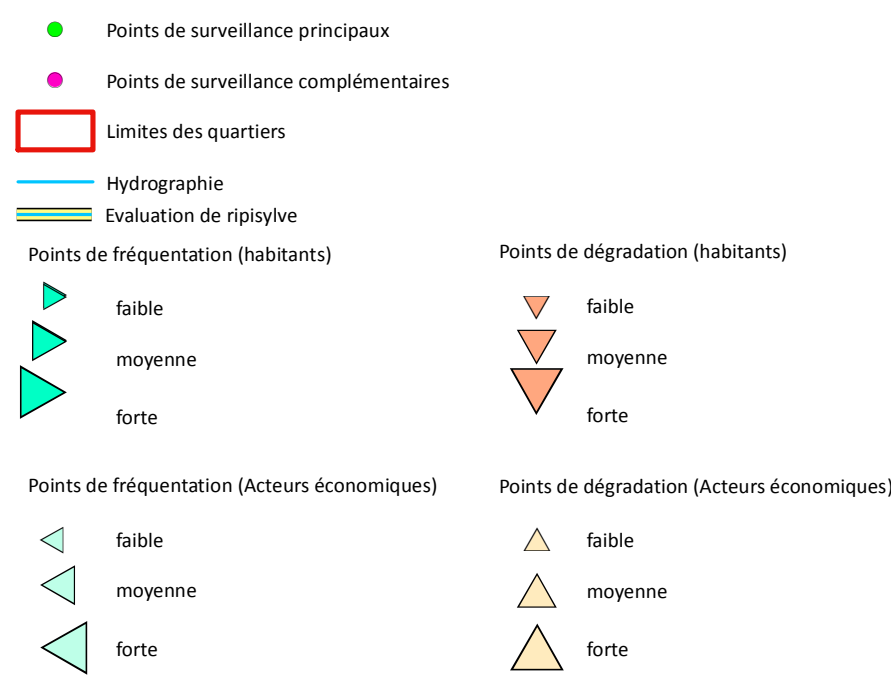
- Points de dégradation (habitants)
- faible
- moyenne
- forte
- Points de dégradation (Acteurs économiques)
- faible
- moyenne
- forte



Informations générales

Surface : 32,95 ha.
Population : 3 437 hab.
Densité : 104,31 hab/ha.

Fiche : Quartier Curime



Informations générales

Surface : 35,81 ha.
Population : 3 055 hab.
Densité : 85,31 hab/ha.

Annexe 5 : Bringing together riverside citizen perception and scientific monitoring to better describe water quality: Case of Liberia River (Costa Rica) (IS Rivers 2018).

Bringing together riverside citizen perception and scientific monitoring to better describe water quality: Case of Liberia River (Costa Rica)

Combiner la perception des riverains et la surveillance scientifique pour mieux décrire la qualité de l'eau : Cas de la rivière Liberia (Costa Rica)

Christian Golcher^{1,2}, Flavie Cernesson², Muriel Bonin², Andrea Suarez¹, Fernando Saenz³, Marie-George Tournoud⁴

¹ Hidrocec-UNA, Universidad Nacional, Liberia, Costa Rica

² CIRAD, UMR TETIS, F-34398 Montpellier, France.

TETIS, Univ Montpellier, AgroParisTech, CIRAD, CNRS, IRSTEA, Montpellier, France.

³ Cinpe-UNA, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

⁴ HSM, Université de Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

RÉSUMÉ

La perception environnementale joue un rôle de plus en plus important dans la gestion des ressources et des milieux naturels. La condition écologique des rivières affecte notamment la qualité de vie et la santé des riverains. Un dispositif largement répandu dans la gestion des rivières est la mise en œuvre de protocoles de surveillance de la qualité de l'eau. Mais comment la perception citoyenne peut-elle renforcer les connaissances scientifiques ? Pour répondre à cette question, nous avons réalisé des campagnes de mesure de la qualité de l'eau d'une rivière urbaine située au Costa Rica, en appliquant la réglementation du pays. En parallèle, nous avons enquêté sur la perception de la condition environnementale du cours d'eau auprès de la population riveraine. Le protocole de mesure, basé sur le suivi d'indicateurs physico-chimiques, bactériologiques et biologiques (macro-invertébrés), a permis de mieux connaître la dynamique spatio-temporelle de la qualité de l'eau. L'analyse des perceptions a mis en évidence le ressenti d'une dégradation de la qualité de la rivière. Ainsi, pour une grande partie de la population, la rivière est un espace plutôt sale et dangereux, davantage utilisé comme zone de passage que pour le loisir. La dégradation est perçue principalement par la présence de déchets solides et de rejets d'eaux usées. Au final, la perception de la dégradation corrobore la plupart des résultats scientifiques, met en évidence des zones mal connues par la population et permet de raffiner les observations dans les zones très fréquentées.

ABSTRACT

Environmental perception plays an increasing role in natural resources and environmental management. The ecological condition of rivers particularly affects the life quality of riverside populations. A widely used river management device is the implementation of water quality monitoring programs. But, how can citizen perception strengthen scientific knowledge during the monitoring efforts? To answer this question, we have monitored water quality in an urban river in Costa Rica according to the national regulation, and in parallel surveyed the citizen's environmental perception of that river. The monitoring program was based on physicochemical, bacteriological and macro-invertebrate indicators to assess river water quality dynamically in space and time. The analysis of citizen perception revealed a decline in the river ecological condition. Thus, for most of the population, the river is a soiled and dangerous transit area rather than a leisure place. We finally found that perceived degradation supports most scientific results. It brings to light areas poorly known to populations and allows refining observations on highly visited areas.

MOTS CLES

Citizen perception, water quality, monitoring, urban river, Costa Rica

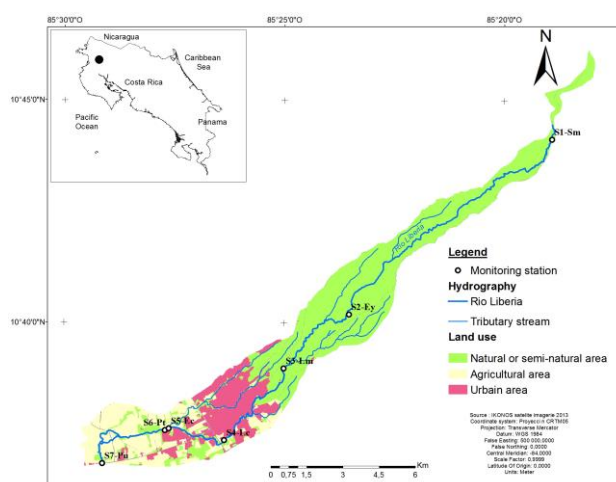
1 INTRODUCTION

Urban rivers are subject to degradations that affect ecosystems, as well as the health and quality of life of the riverine population. To reduce degradations, restore and protect rivers, managers need to collect data for characterizing water quality and the overall aquatic environment condition to fully understand its dynamics, as well as for showing the links between people and the river. Hydrological and water quality monitoring networks, plus specific hydro-morphological assessment protocols are the main sources of information (Birk et al., 2012). However, understanding the perception of riverine population and users has become a necessity: it allows completing knowledge from monitoring networks and measuring campaigns, to know the relationships between individuals and their natural environments, and to understand the diversity of views and expectations (Rivière-Honegger et al., 2014; Taylor and de Loë, 2012). The objective of this study is to show how citizen perception can complement knowledge acquired from monitoring endeavours.

2 STUDY SITE AND METHODOLOGY

2.1 Liberia River

The Liberia River drains a 46 km²-basin in the Northern Pacific part of Costa Rica. Under dry-tropical climate, its waters coming from the Rincon de la Vieja volcano ensures a perennial regime, while all its tributaries are ephemeral. The main river goes through the Liberia City whose 38 500 inhabitants are mainly engaged in commercial activities, tourism and agriculture. The main pressures over the river and its tributaries are linked to rainfall runoff, waste water discharges, solid waste dumping and riverbank urbanization.



Liberia river catchment: Limits, hydrography, main land uses and monitoring station network

2.1.1 Liberia River Monitoring

Seven monitoring stations located on the main stream of the Liberia River were surveyed since 2013. Six monitoring sites target the main parameters to follow the water quality of the Liberia River: three upstream stations are chosen as reference for natural conditions and three stations to assess urban pressures following a variety of land cover and riparian conditions. The seventh station controls the wastewater treatment plant effluents. Sampling and analyses protocols for physicochemical, biological, and microbiological parameters follow the recommendations of Costa-Rican current regulations (MINAE-2007). The ecological condition of riparian areas was assessed through field campaigns observing morphological and ecological continuity of riparian vegetation criteria.

2.1.2 Liberia River citizen perception monitoring

A survey for assessing the citizen perception of the Liberia River ecological condition was carried out from June to September 2016. Two sub-populations were separately sampled. First, 100 inhabitants were surveyed through a proportional stratified sampling protocol according to district population. Second, all local businesses located within 50 meters from the river or its tributaries, were identified. A total of 32 business managers were surveyed. The survey included several components from which two provide relevant pieces of information for this study: 1) Visiting habits to the river (where, how often and why) and 2) Perception on the ecological condition as well as river-related dangers and hazards.

2.2 Methodology

The methodology presents four steps:

- Construction of water quality indices and spatial analysis related to pressures described by land uses and riparian conditions;
- Synthesis of the citizen visiting habits and environmental perception of the river;
- “Hot spot” analysis and localisation from the citizen visiting habits and degradation perception;
- Comparison between monitoring station localisation and identified “hot spots”.

3 MAIN RESULTS

Results on water quality monitoring indicate, with some temporal variability, an upstream-downstream decline in all the physicochemical, bacteriological and macro-invertebrate indices assessed, from incipient pollution conditions (upstream stations) to severe pollution (downstream stations). Moreover, the monitoring station of the wastewater treatment plant consistently presents very severe pollution conditions. The spatial analysis of pressures from land use and riparian conditions shows significant correlations ($\alpha = 5\%$) for most pressure descriptors with the physicochemical and bacteriological indices, while biological index presented correlations with specific urban pressures ($\alpha = 20\%$).

Results on citizens' behaviour and perceptions show that a higher proportion of inhabitants (73%) visit the river and they do it more often than the businesses (38%). The Liberia River is mainly a transit area for the inhabitants. Businesses are involved in volunteer activities such as clean-up or reforestation campaigns (54% for both). Leisure activities are the second reason for visiting (31% for both) the river. Inhabitants and businesses have a negative perception of the river water quality (according to visual and odour criteria, and presence of solid wastes) but have a positive perception of the current condition of riverbank vegetation. The river is finally perceived as an unclean and dangerous place. And both populations identified hazards such as accidents, different water-related diseases and insecurity (sexual and drug related violence).

The survey on inhabitants and economic actors enabled us to map numerous “hot spots”: places commonly described as thoroughfares, leisure sites and/or highly degraded sites. The inhabitants mentioned 42 spots for short stays or transit, whereas the businesses mentioned 10 spots. The inhabitants identified 54 highly degraded sites while the businesses identified 25. When we plot for each spot the number of visiting people versus the number of highly degraded opinions, we observe spatial patterns corresponding to the main urban axes. The most frequently mentioned features are bridges. The landfill and the wastewater treatment plant also stand out as degraded landmarks.

All the seven monitoring sites were mentioned by the interviewed people as hot spots. Upstream locations have been mentioned as visited, and appear as non-degraded sites, while downstream locations have been mentioned as very visited and frequently described as degraded. The perception analysis also allowed us to identify four zones of interest that were not still monitored: two located in the main river, and two on the tributaries.

4 CONCLUSIONS

We finally found that perceived degradation supports most scientific results. It brings to light poorly known areas and allows refining observations on highly visited areas. The spatial modelling of the “hot spots” gave feedback on the localisation of current river monitoring stations and allowed identifying complementary locations where water quality indexes are needed: these locations were monitored during fall 2017.

LIST OF REFERENCES

- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., van de Bund, W., Zampoukas, N., Hering, D., 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecol. Indic.* 18, 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Riviera-Honegger, A., Cottet, M., Morandi, B., 2014. Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? ONEMA, France.
- Taylor, B., de Loë, R.C., 2012. Conceptualizations of local knowledge in collaborative environmental governance. *Geoforum* 43, 1207–1217. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.03.007>

Annexe 6 : Dégradation environnementale et manque d'appropriation du Rio Liberia, Costa Rica : Analyse des fréquentations des habitantes et des acteurs économiques riverains et de leurs perceptions de la dégradation de la rivière (Anthropocène dans les tropiques, 2018).

Dégradation environnementale et manque d'appropriation du Rio Liberia, Costa Rica :
Analyse des fréquentations des habitants et des acteurs économiques riverains et de leurs perceptions de la
dégradation de la rivière

Christian Golcher Benavides¹, Muriel Bonin¹, Flavie Cernesson², Marie-George Tournoud³, Andrea Suarez
Serrano⁴ & Fernando Saenz Segura⁵

¹ CIRAD, UMR TETIS, F-34093 Montpellier, France; christian.golcher@cirad.fr, muriel.bonin@cirad.fr

² AgroParisTech, UMR TETIS, F-34093 Montpellier, France; flavie.cernesson@agroparistech.fr

³ Univ. Montpellier, HSM, F-34095 Montpellier, France; marie-george.tournoud@umontpellier.fr

⁴ Universidad Nacional, Hidrocec-UNA, 50101 Guanacaste, Costa Rica; andrea.suarez.serrano@una.cr

⁵ Universidad Nacional, Cemed-UNA, 40101 Heredia, Costa Rica; fernando.saenz.segura@una.cr

Une des multiples facettes de l'Anthropocène est la dégradation que subissent désormais les rivières et les ruisseaux effet des pressions qu'exercent particulièrement les zones urbaines sur ces écosystèmes (Craig et al., 2017). Les relations entre les processus de dégradation environnementale et la vulnérabilité et l'exclusion sociale ont déjà été décrites (Thiault et al., 2017). Ceci est également vrai pour les villes tropicales. Dans l'objectif de contenir et même d'inverser ces processus, il ne suffit plus de mener des démarches scientifiques concernant les processus biophysiques et des conceptions d'ingénierie. Il est de plus en plus encouragé, de prendre compte les connaissances et l'engagement citoyen dans l'aménagement de ces espaces (Cunha et al., 2017; Olsson et al., 2017). Au-delà des solutions externes, verticales, le succès de ces efforts requière l'intégration de la citoyenneté, particulièrement sur l'aménagement de micro-bassins, où s'expriment intensément et de façon localisée les effets d'une bonne ou mauvaise gestion environnementale, et donc d'une bonne ou mauvaise condition écologique de ces espaces.

Cependant, avant de concevoir l'intégration de la citoyenneté dans les démarches scientifiques et techniques de restauration, il convient de connaître en premier lieu, quelles sont ses perceptions, ses demandes et ses attentes (Fernández Moreno, 2008; Rivière-Honegger et al., 2014): comment les citoyens vivent-ils et comment interagissent-ils avec les rivières? Comment les connaissent-ils? Comment les valorisent-ils? Quels espaces fréquentent-ils? Où localisent-ils la dégradation (le cas échéant)? Etc...

Nous cherchons ici à comprendre ce qui se passe à Liberia, Guanacaste, Mésoamérique. A présent, et face à la dégradation subie par la rivière qui traverse la ville de Liberia, on ne sait pas quelles connaissances et quelle perception environnementale ont les citoyens de la rivière. Pour analyser cette perception, nous avons réalisé une enquête dirigée auprès des citoyens: D'une part les habitants de tous les quartiers de la ville et d'autre part les acteurs économiques se trouvant à proximité de la rivière et de ses ruisseaux (moins de 50 m).

Les résultats nous montrent que les deux sous-populations ont une perception fondamentalement négative de la condition écologique de la rivière. Lorsque nous avons cartographié les principaux espaces de dégradation qui ont été évoqués, nous avons repéré particulièrement des ponts et des rejets d'eaux résiduelles. Pour les citoyens, la rivière en zone urbaine, est un espace sale et dangereux, non seulement en raison des accidents, des infections et des maladies (y compris la dengue), mais aussi à cause de la crainte des vols, du trafic de drogues, de la violence notamment de nature sexuelle.

Nous avons tenté de comprendre cette perception par le biais de l'analyse des connaissances générales et des habitudes de fréquentation, qui regrouperaient d'une certaine façon le niveau d'appropriation de ces espaces d'intérêt. Nous avons constaté que les habitants connaissent mieux les éléments naturels sommaires tels que l'hydrographie, la flore et la faune, que les acteurs économiques. Néanmoins, cette connaissance reste souvent limitée. Les habitants, dans leur majorité, disent fréquenter la rivière et plus fréquemment, que les acteurs économiques ce qui est paradoxal compte tenu la proximité spatiale de ces derniers avec les cours d'eaux (activité économique à moins de 50 m des cours d'eau). Lorsque nous avons cartographié et analysé les points de fréquentation, nous avons identifié encore une fois les ponts mais aussi les axes urbains de la ville. L'analyse des raisons de ces fréquentations chez les habitants nous montre que la rivière est avant tout un espace de passage et rarement de récréation. Pour les acteurs économiques, la principale raison pour fréquenter la rivière est l'action sociale à travers des campagnes de nettoyage et de reboisement.

Même si d'après la perception citoyenne, la plupart des espaces fréquentés sont décrits comme des espaces dégradés, nous avons aussi pu identifier des quelques espaces urbains que les gens visitent et qui sont décrits comme non dégradés. La rivière, perçue de façon négative, est un espace peu valorisé par la citoyenneté: on ne le fréquente que rarement avec des fins de récréation et sa connaissance est souvent insuffisante. Ceci révèle un manque d'appropriation et permet d'expliquer en partie le processus continu de dégradation qu'il subit et l'insuffisant engagement institutionnel pour sa restauration. Cette restauration, pourrait néanmoins favoriser l'amélioration de la qualité de vie de sa population.

Références

- Craig, L.S., Olden, J.D., Arthington, A.H., Entekin, S., Hawkins, C.P., Kelly, J.J., Kennedy, T.A., Maitland, B.M., Rosi, E.J., Roy, A.H., Strayer, D.L., Tank, J.L., West, A.O., Wooten, M.S., 2017. Meeting the challenge of interacting threats in freshwater ecosystems: A call to scientists and managers. *Elem Sci Anth* 5, 72. <https://doi.org/10.1525/elementa.256>
- Cunha, D.G.F., Casali, S.P., de Falco, P.B., Thornhill, I., Loiselle, S.A., 2017. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. *Sci. Total Environ.* 584-585, 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.080>
- Fernández Moreno, Y., 2008. ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral Guadalaj.* 15, 179–202.
- Olsson, P., Moore, M.-L., Westley, F.R., McCarthy, D.D.P., 2017. The concept of the Anthropocene as a game-changer: a new context for social innovation and transformations to sustainability. *Ecol. Soc.* 22. <https://doi.org/10.5751/ES-09310-220231>
- Rivière-Honegger, A., Cottet, M., Morandi, B., 2014. Connaître les perceptions et les représentations : quels apports pour la gestion des milieux aquatiques ? ONEMA, France.
- Thiault, L., Marshall, P., Gelcich, S., Collin, A., Chlous, F., Claudet, J., 2017. Mapping social-ecological vulnerability to inform local decision making. *Conserv. Biol.* <https://doi.org/10.1111/cobi.12989>

Annexe 7 : Pistas sobre el conocimiento y el compromiso ciudadano.

I. Pistas sobre el conocimiento y el compromiso ciudadano

1.1.1 Percepción del estado del hidrosistema según los habitantes que conocen la parte alta del río

Las mejores condiciones generales del río de acuerdo con nuestras observaciones de calidad del agua y de la condición de la ribera, se observan en la parte alta del río, podría pensarse que las personas que dicen conocer esta sección tienen una mejor percepción del río. La siguiente figura nos muestra la percepción del estado del río según estas conozcan o no la parte alta de la cuenca.

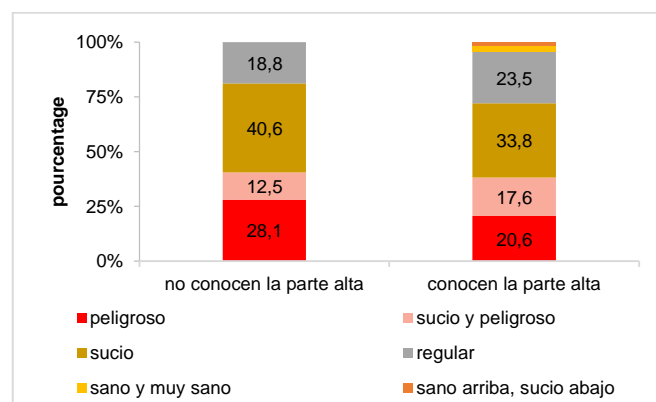


Figure 1

Percepción del estado general del río según si los encuestados conocen la parte alta del río o no.

Al realizar este análisis efectivamente y recordando que 68% de las personas encuestadas dicen conocer dicha sección, observamos que las personas que efectivamente son estas las que consideran el río sano o muy sano. Además, también se encuentran los que lo consideran sano y sucio, en esta lectura de degradación del estado del río. Por otra parte, las valoraciones negativas, excluyendo las regulares son menores en las personas que conocen la parte alta, en particular los que señalan el río estrictamente peligroso. No obstante, las percepciones “sucio y peligroso” y peligroso son muy similares tanto en quienes conocen la parte alta del río como los que no la conocen.

1.1.2 Conocimiento biofísico del río y sus quebradas

Se han consultado diferentes aspectos relacionados a características biofísicas del río y de sus quebradas. Entre estos aspectos se consultó dónde nace el río. Sabemos de fuentes bibliográficas (Muñoz, 2011) y producto de recorridos exhaustivos a lo largo del cauce, que el río es hoy un cuerpo de agua superficial con significativa intervención antrópica. Esta intervención consiste en la construcción de dos principales canales en las laderas del Parque Nacional Rincón de la Vieja, las cuales recuperan agua de diversas quebradas y un chorro principal ubicado en el sector Santa María donde seguidamente se encuentra un derivador del AyA que divide las aguas para los ríos Liberia y El Salto.

De las encuestas realizadas a los habitantes y a los actores económicos se desprende la heterogeneidad en el conocimiento de elementos básicos hidrográficos del río Liberia, esto es, de la ubicación de la naciente y de los nombres de quebradas. Empero, se identifica mejor el lugar de la desembocadura. Cerca de la mitad de las personas en ambas poblaciones ignoran donde nace el río (ver Figura 3). Las personas que dicen saber dónde nace, hacen referencia especialmente al volcán Rincón de la Vieja o el sector Santa María del Parque Nacional. Estas menciones son las del 76% de los habitantes y del 77% de los actores económicos. El Chorro (derivador del AyA en Santa María) lo menciona el 11% de los habitantes. Las restantes respuestas son imprecisas o no se ajustan a la realidad del todo.

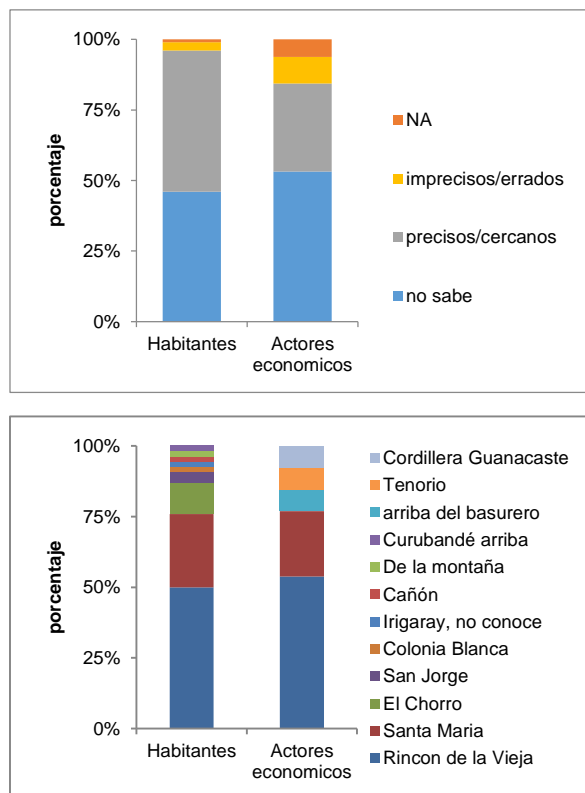
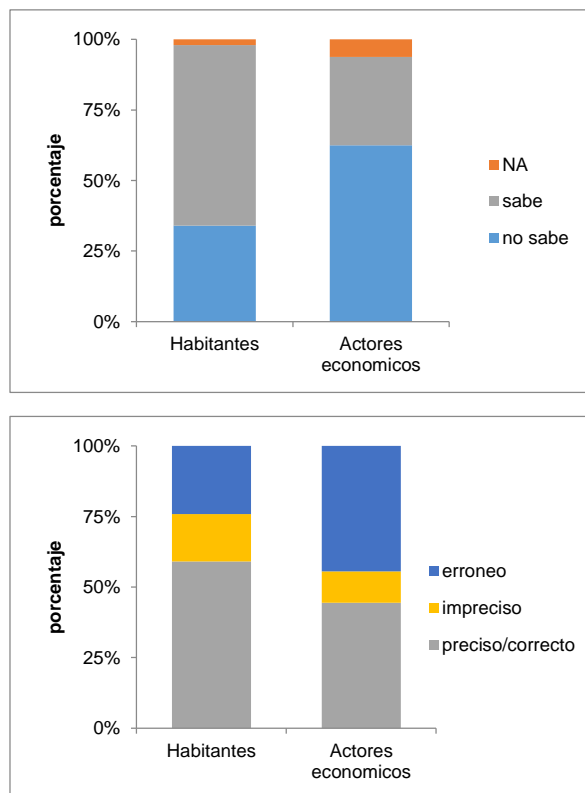


Figure 2

Respuestas obtenidas sobre la localización del origen geográfico del río Liberia.

En cuanto a la conformación de la red hidrográfica, las personas encuestadas indicaron los nombres de las quebradas del área de estudio: 64% de los habitantes pudieron al menos mencionar una, mientras que el 63% de los actores económicos dijeron no poder mencionar ninguna. En ambas poblaciones la quebrada más conocida es Los Piches. De las 149 menciones obtenidas de los habitantes, la quebrada Piches fue mencionada en 19% de las ocasiones, seguida de la quebrada Danta (16%), La Carreta (13%) y Panteón (11%). Por su parte, de las 40 menciones obtenidas de los actores económicos, el 39% mencionó Los Piches y 6% la Carreta.

Tanto habitantes como actores económicos mencionaron ríos y quebradas que se encuentran fuera del área hidrográfica. Esto ocurrió en el 19% y 28% de las respuestas dadas respectivamente. Así mismo hubo quienes brindaron elementos de respuesta imprecisos que pueden ser asociados a las quebradas en cuestión, sin que hubiesen dicho exactamente el nombre de estas. En este caso tenemos 17% de las menciones de los habitantes y 12% de las menciones de los actores económicos.

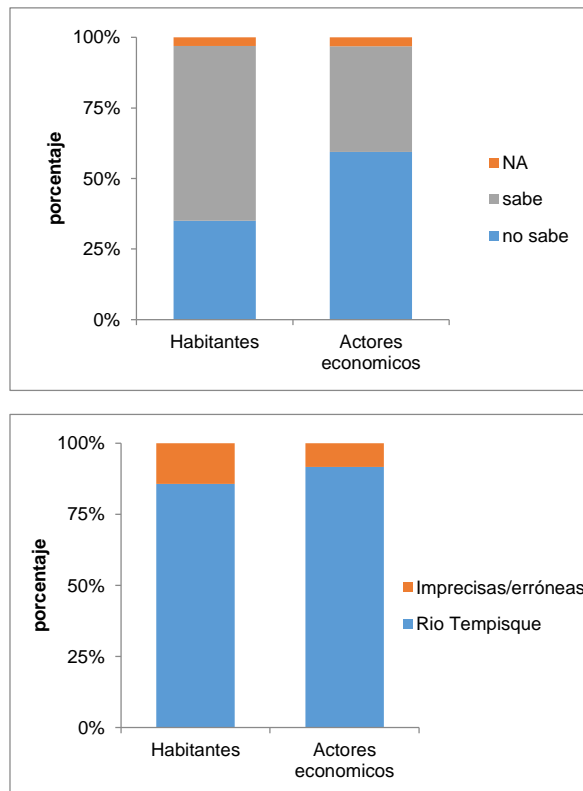


Fuente: elaboración propia, 2018.

Figure 3

Nivel de identificación de quebradas del río Liberia, a la derecha el detalle de precisión entre los que dijeron saber nombres de quebradas.

Al consultarse la localización de la desembocadura del río Liberia, indicaron correctamente el río Tempisque el 54% de los habitantes y el 35% de los actores económicos (ver Figura 5). Respectivamente 35% y 59% dijo desconocerlo. Fuera del área de estudio, el 3% y el 8% de estas poblaciones indicó el río Colorado. Mientras que el área agrícola aguas abajo, dedicada a la producción de caña de azúcar, y el mar fueron mencionados en las respuestas restantes.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figure 4

Respuestas de percepción obtenidas sobre la localización de la desembocadura del río Liberia, a la derecha el detalle de precisión entre los que dijeron saber dónde desemboca el río.

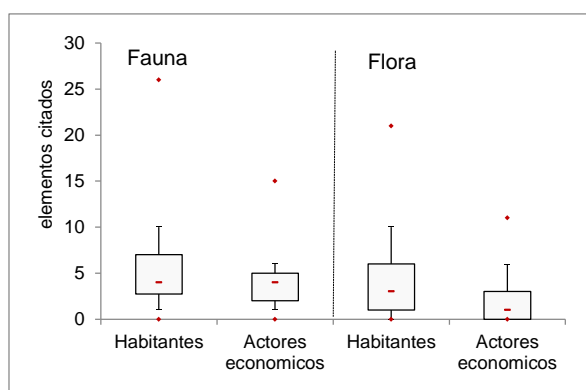
Del conocimiento de componentes bióticos del río se consultó sobre la fauna y la flora que se asocia al cuerpo de agua. Obtuvimos enumeraciones sin limitación de elementos, que requirieron un análisis semántico dado el registro de una diversidad de nombres vulgares para referirse a las distintas formas de flora y fauna. Por ejemplo, se obtuvieron respuestas con diferente grado de precisión “taxonómica”: desde las más generales (aves, peces, arbustos) hasta elementos que pueden identificarse a nivel de especie (i.e. mono congo, *Alouatta palliata*).

Existen elementos comunes en ambas poblaciones siendo, por un lado, el garrobo (*Iguana rhinolophus*) y el mono congo los animales más comunes, y por el otro los árboles guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), encino (*Quercus oleoides*), nance (*Byrsonima crassifolia*) y mango (*Mangifera indica*), las especies de flora más frecuentes entre diversas especies propias del bosque autóctono. Otras formas de fauna mencionada son: lagartos (*Alligator spp.*), piches (*Dendrocygna autumnalis*), zanates (*Quiscalus*

spp.), culebras, perros (*Canis l. familiaris*), ardillas (*Sciurus spp.*), garzas y venados (*Odocoileus virginianus*).

Un total de 526 animales fueron mencionados por los habitantes y 128 por los actores económicos. Ambos grupos mencionan en promedio 4 animales. Pocos (5% de los habitantes y 6,25% de los actores económico) fueron los que no mencionaron ninguno. Se mencionan 100 diferentes elementos entre animales silvestres (81%) y domésticos (9%). Obtuvimos una diversidad de animales que incluyen mamíferos (33%), aves (32%), reptiles (16%), insectos (7%), anfibios (4%), crustáceos (2%) y peces (2%).

En cuanto árboles y plantas se han mencionado menos que los animales: 391 elementos dados por los habitantes 70 citados por los actores económicos. La media correspondiente al número de elementos mencionados por persona en ambas poblaciones encuestadas fue de 3 y 1 respectivamente. Las personas que no asociaron ninguna planta o árbol al río, fueron 24% de los habitantes y 34% de los actores económicos.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figure 5

Número de animales y plantas mencionados en función de la categoría de actor.

Al analizarse los tipos de respuesta observamos una importante diversidad de elementos citados de diferente naturaleza. En el caso de la fauna mencionada, se mencionan 100 diferentes elementos tanto animales silvestres (81%) como domésticos (9%). Así mismo, se mencionan mamíferos, aves, reptiles, insectos, crustáceos y peces.

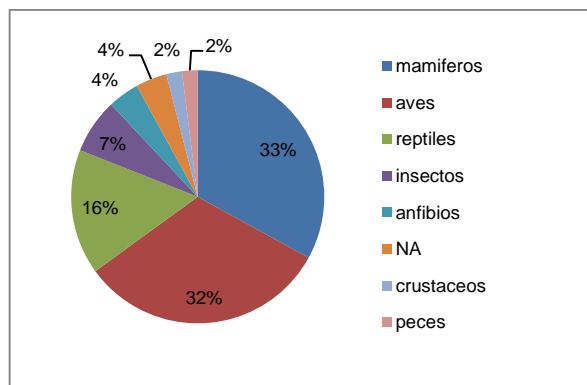


Figure 6

Clases de animales mencionados por la población habitante.

También se observa que las personas mencionan con diferente grado de precisión “taxonómica”, citando desde elementos generales (aves, peces) hasta elementos específicos los cuales son capaces de determinarse por especie (i.e. iguanas, mono congo). Esto implica una posterior etapa de identificación especialmente al considerarse el uso generalizado de una diversidad de nombres vulgares para referirse a las distintas formas de fauna.

La consulta sobre los animales permite también aprender algunos elementos de la percepción social que la gente tiene del río. En efecto hay personas que relacionan al río a especies de fauna silvestres, otros con animales domésticos, pero más aún hay personas que brindan elementos de fauna que podrían tener una connotación negativa (i.e. lagartos, moscas, sancudos, zanates, perros, gatos) que conforta la percepción observada sobre la degradación ecológica y la de peligrosidad que representa para algunos el río. No podemos cuantificar este detalle ya que no sabemos de manera explícita cuales animales tienen una connotación negativa desde la percepción de los encuestados.

Las nubes de palabras son útiles para la representación de elementos que forman parte de las percepciones colectivas y permite la confección de representaciones colectivas. En estas representaciones las palabras son resaltadas y posicionadas según la frecuencia dada en las listas de palabras. De las nubes de palabras representadas en la siguiente figura se destaca la diversidad y la variedad de elementos mencionados. En el caso de la fauna, garrobo, lagartos, congos, piches, zanates, culebras, perros, ardillas, garzas, venados, son a menudo mencionados por los habitantes. En el caso de la flora se destacan especies emblemáticas como el Guanacaste y el Encino, mientras que el guapote y el barbudo se destacan entre las especies de ictiofauna.

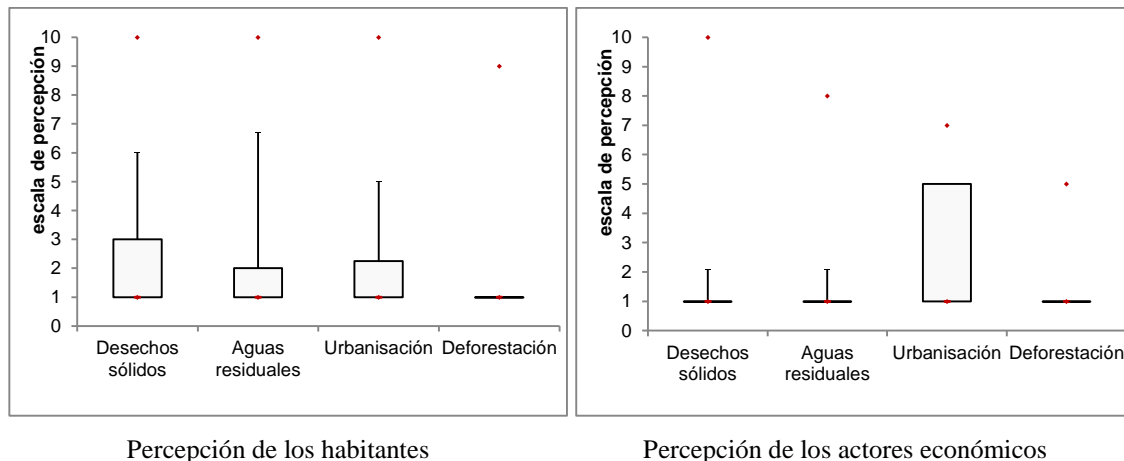


Figure 8

Percepción del nivel de impacto del usuario en cuanto a manejo de desechos sólidos, aguas residuales, urbanización del suelo y deforestación.

1.1.4 Percepción sobre las actividades voluntarias: campañas de limpieza, sensibilización y de reforestación.

Como se observó anteriormente, las actividades de voluntariado pueden ser una de las principales razones de los usuarios para visitar el río y sus quebradas. En efecto, en el caso de los actores económicos se trata de la principal razón.

Las iniciativas clásicas en Costa Rica son las campañas de limpieza, y de reforestación de cauces en voluntariados organizados o espontáneos, así como actividades de educación o sensibilización ambiental, las cuales no son especialmente valoradas en comparación a las otras dos actividades.

1.1.4.1 *Percepción del impacto positivo que pueden tener las actividades voluntarias sobre la condición ecológica del río*

Como es de esperar, las actividades clásicas son normalmente valoradas favorablemente, aunque existen excepciones. Se trata de personas que no creen que estas actividades puedan ser realmente efectivas en el mejoramiento de la condición del río. Las actividades mejor valoradas en este sentido son las campañas de limpieza y las actividades de reforestación de los cauces. Sin embargo, las actividades de sensibilización ambiental en ambas poblaciones presentan una mayor variabilidad de respuesta, empujando la media hacia abajo.

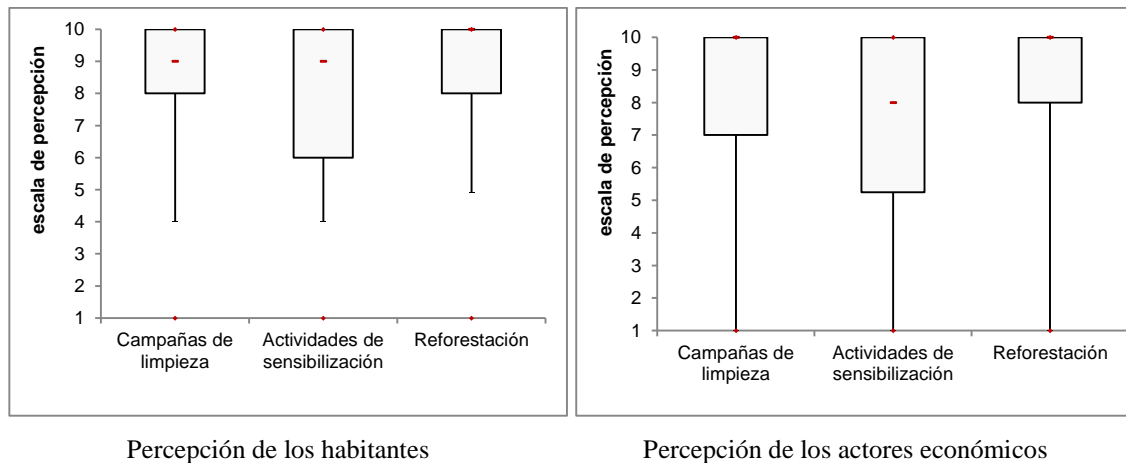


Figure 9

Percepción del nivel de impacto positivo de las actividades voluntarias de mejoramiento del río y sus quebradas.

1.1.4.2 Percepción de la efectividad de diferentes medios para la promoción de actividades voluntarias

Al consultarse el nivel de efectividad de diferentes medios o formas de comunicación para promover este tipo de actividades, la ciudadanía valoró más favorablemente el internet y las redes sociales, así como la radio y la televisión. En cambio, el volanteo y la megafonía tendieron a ser considerados menos útiles u efectivos en este objetivo. Por su parte la comunicación entre vecinos es variablemente percibida en su efectividad para promover actividades para el mejoramiento de la condición del río y sus quebradas, sin embargo, tiende a ser valorada favorablemente y para una proporción de la ciudadanía, muy importante.

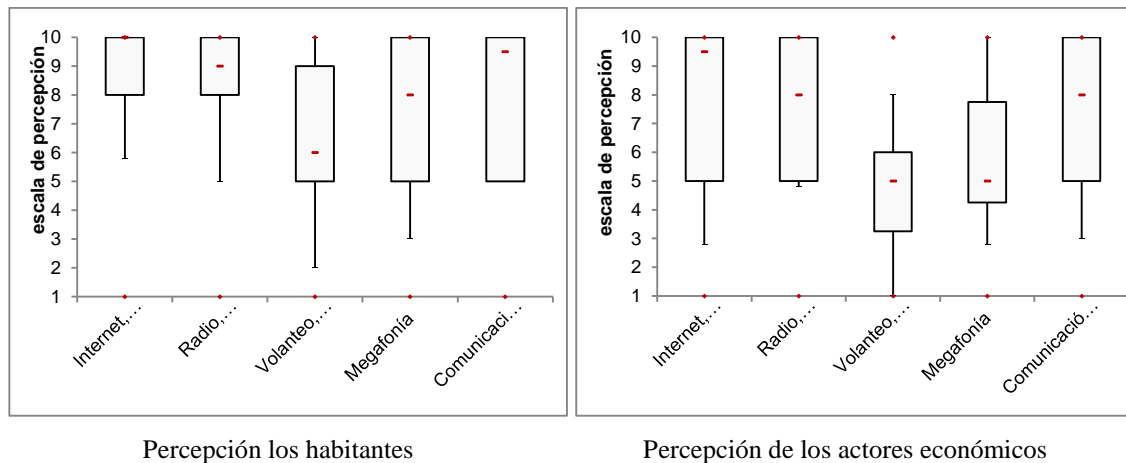


Figure 10

Percepción del nivel de la efectividad de diferentes medios para promover estas actividades.

1.1.5 Percepción sobre las instituciones ligadas a la GIRH

Salvo algunas excepciones, casi todas las personas consideran que hay instituciones públicas que tienen responsabilidades y competencias sobre la condición ecológica del río Liberia y sus quebradas. Sin embargo, al consultarse el nivel de confianza sobre instituciones relacionadas como lo son el Área Rectora de Salud, AyA, Ministerio de Educación Pública (MEP), Municipalidad de Liberia, se observa una importante variabilidad en la confianza percibida, salvo, en el caso de los habitantes, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-ACG). La media de la confianza en el MEP es la más alta (7) y el resto de las instituciones tiene una percepción similar en su variabilidad y sus medias que son equivalentes a 5.

La media de la confianza de los actores económicos en estas instituciones para el abordaje de la problemática oscila entre 5 y 6 con importantes variabilidades. La mayor de estas variabilidades la presenta el SINAC-ACG.

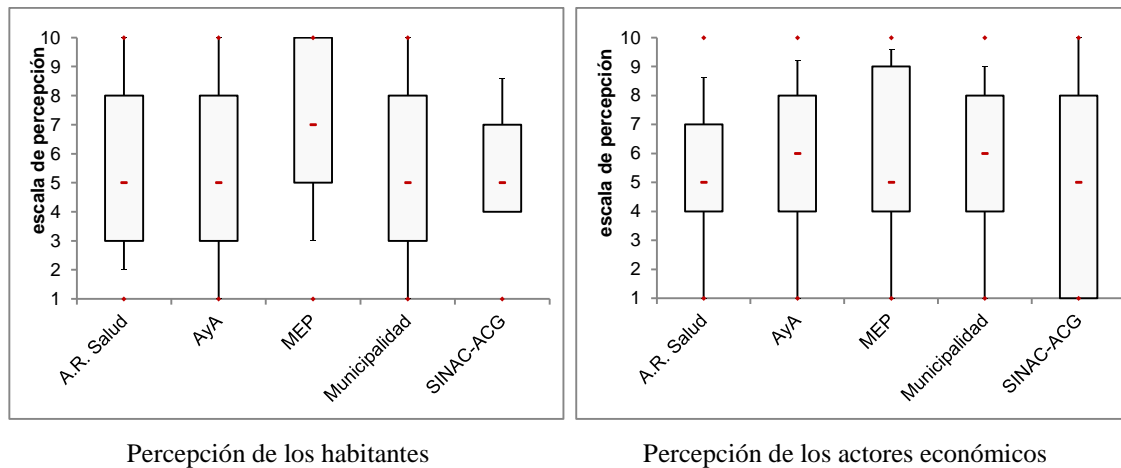


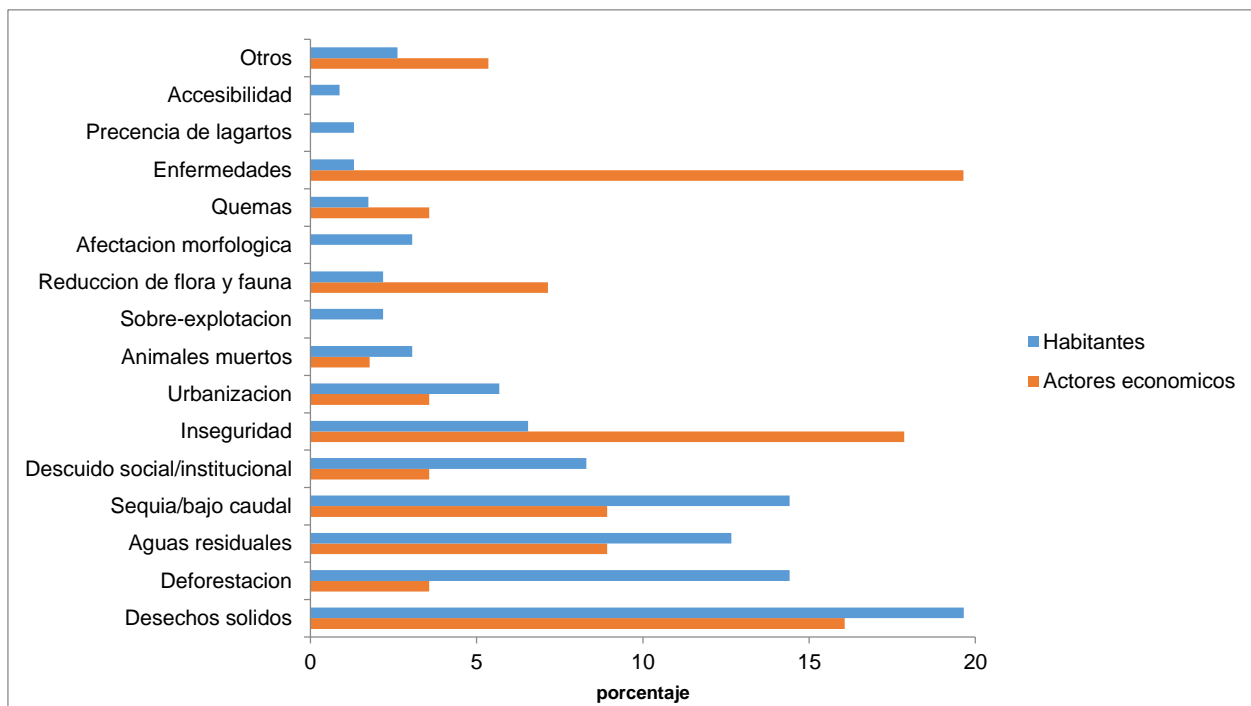
Figure 11

Percepción del nivel de confianza en instituciones clave para atender la problemática del río y sus quebradas.

1.2 Relación de la ciudadanía con la problemática ambiental del río

Se consultó a las personas encuestadas que mencionaran los tres problemas principales que presenta el río Liberia y sus quebradas. Se obtuvieron 280 menciones de los habitantes y 74 menciones de los actores económicos. Se agruparon estas menciones en categorías homogéneas de tal forma que la “contaminación”, en general, es la mención más frecuente en ambos grupos encuestados con 18% y 24% respectivamente.

La percepción sobre los problemas más importantes del río en ambas poblaciones encuestadas se detalla. Se observa que los habitantes señalan en primer lugar, problemáticas ambientales causadas por el ser humano: desechos sólidos, deforestación, sequía/bajo caudal y aguas residuales. Por el contrario, los actores económicos indican en primer término problemáticas del río que pueden generar algún impacto sobre su negocio siendo las problemáticas de vectores y enfermedades e inseguridad las que son mencionadas con mayor frecuencia en esta población. El descuido social e institucional y la urbanización son las siguientes categorías importantes para los habitantes. Los actores económicos respaldan –en seguida- las problemáticas ligadas a desechos sólidos, aguas residuales, sequía/bajo caudal y además señalan de manera importante, la reducción de la flora y fauna.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figure 12

Respuestas de percepción sobre los problemas más importantes que tiene el río.

Los habitantes señalaron con mayor frecuencia las siguientes categorías: Desechos sólidos (16%), deforestación, sequías y condiciones de bajo caudal (ambas con 12%) y aguas residuales (10%). El descuido, la inseguridad, la urbanización, la presencia de animales muertos y la sobreexplotación del recurso son las siguientes categorías importantes que, sumadas, contabilizan el 21% de las menciones más frecuentes.

Por su parte los actores económicos mencionaron con mayor frecuencia las siguientes categorías: Vectores y enfermedades (15%), inseguridad (14%), desechos sólidos (12%) y aguas residuales y sequías y condiciones de bajo caudal (ambas con 7%). La problemática de la reducción de flora y fauna fue mencionada en 5% de la totalidad dada por los actores económicos.

Producto de este análisis de percepción sobre los problemas más importantes que tiene el río y sus quebradas presenta podemos decir que en primera instancia mencionar a la “contaminación”, en general sin mayor detalle, es el primer reflejo en ambas poblaciones encuestadas. Así mismo se observan dos perfiles: los habitantes tienden a señalar en primer lugar, problemáticas ambientales causadas por el ser humano sobre el cuerpo de agua superficial. Se trata de acciones desarrolladas por el ser humano que afectan la condición del río. Por el contrario, los actores económicos tienden a señalar en primer

lugar problemáticas del río que pueden generar algún impacto sobre su negocio siendo las problemáticas de vectores y enfermedades, así como la inseguridad las que vienen en mayor frecuencia en esta población.

1.3 Des indicateurs participatifs intéressants pour le río Liberia

Les efforts de surveillance effectués jusqu'à présent décrivent certains attributs de la qualité de l'eau et de la condition de la ripisylve. L'intégration des citoyens dans les processus de suivi peut favoriser les processus de restauration dans la mesure où elle :

1. renforce le positionnement du problème dans la perception sociale, et
2. renforce les connaissances scientifiques et techniques pertinentes.

Quels indicateurs participatifs sont pertinents à mettre en place dans le réseau hydrographique du Liberia ?

Nombreux indicateurs participatifs ont été déjà mis en place en zones urbaines qui mobilisent les sens principalement la vue et l'odorat. Ces indicateurs peuvent relever de l'information objective, lorsqu'il s'agit d'une information biophysique issue d'un instrument de mesure calibré et d'une procédure standardisée, ou parfois de l'information subjective de la part des observateurs, lorsqu'il s'agit de mobiliser des éléments de perception, spécialement, quand sont comprises des variables liées à l'esthétique.

Auteur : Christian Golcher Benavides

Titre de la thèse : Qualité des eaux d'une rivière urbaine : Suivi réglementaire versus Perception des riverains : Le cas du río Liberia (Costa Rica)

L'impact des activités humaines sur l'état d'une rivière est le plus souvent évalué réglementairement par le suivi d'indicateurs de la qualité de l'eau. La définition des réseaux de mesures est contrainte par des aspects techniques ou pratiques qui font que les diagnostics sont établis sur une base de connaissances limitée. Etudier la relation qu'ont les riverains avec le cours d'eau peut-il servir à améliorer les connaissances scientifiques sur les pressions et l'état de la rivière, et donc à moyen terme à améliorer la définition des actions de contrôle et de restauration ? La réponse à cette question s'appuie sur l'étude du río Liberia (longueur 30 km, bassin versant 46 km²) au Costa Rica. La rivière traverse la ville de Liberia (39000 habitants). La thèse est basée sur le couplage de deux démarches : (a) la réalisation du diagnostic réglementaire de la qualité de l'eau et la caractérisation des pressions anthropiques sur la rivière ; (b) l'étude de la perception et de la pratique de la rivière par les riverains. Dans un premier temps, quinze campagnes de mesure de la qualité de l'eau ont été effectuées sur un réseau de sept stations entre 2013 et 2015. Les indicateurs physico-chimique, biologique et bactériologique montrent un gradient amont-aval de l'état de rivière, de peu à très pollué. Ces indicateurs sont peu variables en fonction des conditions hydrologiques -vu par un indice de précipitation antérieure-, mais sont influencés par les pressions anthropiques, vu par les indices d'occupation du sol et d'état de la ripisylve. La qualité de la rivière est dégradée à la traversée de la zone urbaine. Dans un deuxième temps, une enquête a été effectuée en 2016, auprès de 100 habitants et de 32 acteurs économiques riverains. La fréquentation de la rivière et la perception de sa dégradation ont été cartographiées. La fréquentation de la rivière est différente selon le type de riverains. En général, les habitants traversent tous les jours la rivière par les différents ponts et les acteurs économiques fréquentent la rivière occasionnellement pour participer à des actions collectives de restauration. La rivière est perçue comme un espace dégradé et dangereux par la majorité des riverains. Mais, la partie amont du cours d'eau et quelques sites urbains, sont appréciés pour leur bonne qualité. Dans un troisième temps, le croisement des connaissances issues du réseau de suivi avec les résultats de l'enquête de perception a été réalisé. Le niveau de dégradation des stations de mesure concorde avec le point de vue des riverains. De plus, les habitants signalent de nouveaux points de dégradation qui permettent de renforcer le réseau de mesure. Ainsi, des nouvelles stations ont été mises en place lors d'une campagne menée en 2017. La variabilité spatiale de la qualité de l'eau et de la ripisylve a été affinée. On démontre ainsi que les perceptions des riverains peuvent être utilisées pour améliorer l'évaluation de la qualité d'une rivière urbaine. Cette thèse est une première étape d'un diagnostic combinant approches hydrologique, par des indicateurs réglementaires, et géographique, par un travail d'enquêtes. Il reste à mieux comprendre à la fois la dynamique de la qualité de l'eau, en lien avec l'hydrologie, et celle des pressions anthropiques, ainsi que la variabilité temporelle de la perception du cours d'eau par les riverains. Enfin, les modalités d'engagement des riverains au suivi et à la restauration de la qualité de la rivière restent à analyser, pour le développement d'une vraie démarche participative.

Mots-clés : suivi réglementaire de la qualité de l'eau, pressions anthropiques, perception sociale, rivière urbaine, enquêtes, analyse spatiale.

Thesis title: Water quality of an urban river: regulatory monitoring versus residents' perception: The case of the Liberia River (Costa Rica)

The impact of human activities on rivers status is most often assessed through the monitoring of regulatory water quality indicators. The definition of regulatory action networks is constrained by technical or practical aspects. As a result, diagnoses are made on the basis of limited knowledge. Can studying the relationship between residents and rivers be used to improve scientific knowledge on the pressures and state of the river, and therefore in the medium term to improve the definition of control and restoration actions? The thesis is based on the study of the Liberia River (30 km long, 46 km² catchment area) in Costa Rica - North Pacific Region. The river flows downstream through the urban area of the city of Liberia (39 000 inhabitants). The thesis is based on the coupling of two approaches: (a) the regulatory diagnosis of water quality and the characterization of anthropogenic pressures on the river; (b) the study of the perception and practice of the river by residents. Firstly, fifteen water quality measurement campaigns were carried out on a network of seven stations along the Liberia River between 2013 and 2015. The physico-chemical, biological and bacteriological indicators show an upstream-downstream gradient of the river state, from slightly to highly polluted. These indicators are not very variable according to hydrological conditions - as seen by a previous rainfall index - but are influenced by anthropogenic pressures, as seen by land use and riparian condition indices. The quality of the river is severely degraded when crossing the urban area. Secondly, a survey was carried out in 2016, among 100 inhabitants and 32 economic actors. A map of the river, in terms of use and perception, was carried out. In general, the inhabitants cross the river every day via the various bridges, and the economic actors occasionally participate in collective restoration actions. The river is perceived as a degraded and dangerous space by the majority of residents. However, the upstream part of the river, and some urban sites, are appreciated for their good quality. Thirdly, knowledge from the monitoring network and results of the perception survey were analyzed jointly. The level of degradation from monitoring stations is consistent with the point of view of residents. Thus, new stations were implemented during a campaign carried out in 2017. The spatial variability of water quality and riparian zones was refined. As a conclusion, residents' perceptions can be used to improve the assessment of the quality of an urban river. This thesis is a first step in diagnosing the quality of an urban river, combining hydrological approaches, through regulatory indicators, and socio-geographic indicators, through survey of residents. However, it is necessary to better understand both dynamics of water quality, in relation to hydrology, and those of anthropogenic pressures, as well as the temporal variability of the perception of the river by residents. Finally, conditions for involving residents in monitoring and restoring the quality of the river remain to be analyzed, in order to develop a real participatory approach.

Keywords: water quality regulatory monitoring, anthropic pressures, social perception, urban river, surveys, spatial analysis.